

Том 4 · # 4 · 2019

ГОРОДСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРАКТИКИ



ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МОСКВА · 2019

Vol. 4 · # 4 · 2019

**URBAN
STUDIES
AND PRACTICES**



MOSCOW · 2019

ISSN 2500-1604 (Print)
ISSN 2542-0003 (Online)

Учредитель:
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
«**ВЫСШАЯ ШКОЛА
ЭКОНОМИКИ**»

Позиция редакции
может не совпадать
с мнением авторов.
Перепечатка материалов
возможна только
по согласованию
с редакцией.

Журнал зарегистрирован
21 июля 2016 г. Федеральной
службой по надзору в сфере
связи, информационных
технологий и массовых
коммуникаций. Свидетельство
о регистрации средства
массовой информации
ПИ № ФС 77 - 66568

**Адрес редакции
фактический:**
101000, Москва,
ул. Мясницкая, д. 13,
стр. 4, оф. 416
почтовый: 101000, Москва,
ул. Мясницкая, д. 20
тел.: +7 495 772-95-90*12173
e-mail: usp_editorial@hse.ru

**Адрес издателя
и распространителя
фактический:**
117418, Москва,
ул. Профсоюзная, д. 33, корп. 4
Издательский дом ВШЭ
почтовый: 101000, Москва,
ул. Мясницкая, д. 20
НИУ ВШЭ
тел.: +7 495 772-95-90*15298,
e-mail: id@hse.ru

ФАКУЛЬТЕТ ГОРОДСКОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

ГОРОДСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРАКТИКИ
Том 4 • # 4 • 2019

Главный редактор
АНАШВИЛИ В.В. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)

Научные редакторы
ДАНИЛОВ В.Н. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Российская Федерация)
СМИРНОВ А.А. (РАНХиГС, Российская Федерация)

Редакционная коллегия
ВАРШАВЕР Е.А. (РАНХиГС, Российская Федерация)
ГАВРИЛОВА С.А. (Институт региональной географии им. Лейбница, Германия)
КОТОВ Е.А. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
ОСТРОГОРСКИЙ А.Ю. (Архитектурная школа МАРШ, Российская Федерация)
РОЧЕВА А.Л. (РАНХиГС, Российская Федерация)

Ответственный секретарь
КОДЗОКОВА Д.Р. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)

Редакционный совет
БЛИНКИН М.Я. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
АСС Е.В. (МАРШ, Российская Федерация)
ЗАМЯТИН Д.Н. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
ЗАПОРОЖЕЦ О.Н. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
ИЛЬИНА И.Н. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
КИЧИГИН Н.В. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
КОЛОКОЛЬНИКОВ А.Б. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
КОРДОНСКИЙ С.Г. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
КУРЕННОЙ В.А. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
КОСАРЕВА Н.Б. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
КРАШЕНИННИКОВ А.В. (МАРХИ, Российская Федерация)
НИКОЛАЕВ В.Г. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
ПУЗАНОВ А.С. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
РЕВЗИН Г.И. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
РУБЛ Б. (Международный научный центр имени Вудро Вильсона, США)
САФАРОВА М.Д. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
СИВАЕВ С.Б. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
ТРУТНЕВ Э.К. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)
ХЕЙНЕН Н. (Университет Джорджии, США)
ШОМИНА Е.С. (НИУ ВШЭ, Российская Федерация)

Заведующая редакцией — Лаврик А.А.
Литературный редактор — Писарев А.А.
Редактор английских текстов — Конноли Д.
Корректор — Редькина Т.В.
Верстка — Меерсон А.В.

**Редакция благодарит Лёлю Жвирблис за большую помощь в сборе
и редактировании материалов для данного тематического номера.**

ISSN 2500-1604 (Print)
ISSN 2542-0003 (Online)

Publisher:
NATIONAL
RESEARCH
UNIVERSITY
**HIGHER SCHOOL
OF ECONOMICS**

The editorial position does not necessarily reflect the authors views. The reproduction of materials without permission of the editorial office is prohibited.

The journal is registered July 21, 2016 in the Federal Service for Supervision in the Area of Telecom, Information Technologies and Mass Communications. Certificate of registration of mass media PI No. FS 77 - 66568

Address:
National Research University
Higher School of Economics
20 Myasnitskaya Ulitsa, Moscow,
101000, Russian Federation
tel: +7 495 772-95-90*12173
e-mail: usp_editorial@hse.ru

FACULTY OF URBAN AND REGIONAL DEVELOPMENT

URBAN STUDIES AND PRACTICES
Vol. 4 · # 4 · 2019

Editor-in-Chief

VALERY ANASHVILI (*HSE University, Russian Federation*)

Science Editors

VYACHESLAV DANILOV (*MSU, Russian Federation*)

ARTEM SMIRNOV (*RANEPA, Russian Federation*)

Editorial Board

ALEXANDER OSTROGORSKIY (*MARCH Architecture School, Russian Federation*)

ANNA ROCHEVA (*RANEPA, Russian Federation*)

EGOR KOTOV (*HSE University, Russian Federation*)

EVGENY VARSHAVER (*RANEPA, Russian Federation*)

SOFIA GAVRILOVA (*Leibniz Institute for Regional Geography, Germany*)

Executive secretary

DIANA KODZOKOVA (*HSE University, Russian Federation*)

Editorial Council

MICHAEL BLINKIN (*HSE University, Russian Federation*)

EUGENE ASSE (*MARCH, Russian Federation*)

NIK HEYNEN (*University of Georgia, USA*)

IRINA ILINA (*HSE University, Russian Federation*)

NIKOLAY KICHIGIN (*HSE University, Russian Federation*)

ANDREY KOLOKOLNIKOV (*HSE University, Russian Federation*)

SIMON KORDONSKY (*HSE University, Russian Federation*)

NADEZHDA KOSAREVA (*HSE University, Russian Federation*)

ALEXEY KRASHENINNIKOV (*Moscow Institute of Architecture, Russian Federation*)

VITALY KURENNOY (*HSE University, Russian Federation*)

VLADIMIR NIKOLAEV (*HSE University, Russian Federation*)

ALEXANDER PUZANOV (*HSE University, Russian Federation*)

GRIGORY REVZIN (*HSE University, Russian Federation*)

BLAIR RUBLE (*Woodrow Wilson International Center for Scholars, USA*)

MARIYA SAFAROVA (*HSE University, Russian Federation*)

ELENA SHOMINA (*HSE University, Russian Federation*)

SERGEY SIVAEV (*HSE University, Russian Federation*)

EDOUARD TRUTNEV (*HSE University, Russian Federation*)

DMITRY ZAMYATIN (*HSE University, Russian Federation*)

OKSANA ZAPOROZHETS (*HSE University, Russian Federation*)

Editorial management — Anna Lavrik

Editor — Alexander Pisarev

English language editor — David Connolly

Proofreader — Tatyana Red'kina

Layout — Anastasia Meyerson

Editorial Board grateful to Lelya Zhvirblis for helping in the accumulation and editing of materials for this special issue.

СОДЕРЖАНИЕ

ТРАНСПОРТ В ЭПОХУ ПЕРМАНЕНТНОГО КРИЗИСА

7/ АЛЕХАНДРО ТИРАЧИНИ, ОДЕД КАТС

COVID-19 и общественный транспорт: текущая оценка, перспективы и потребности в исследованиях

30/ ГРЭМ КАРРИ

Ложь, наглая ложь, автономные транспортные средства, совместная мобильность и перспективы городского транспорта

ТРАНСПОРТ КАК ОБЪЕКТ МОДЕЛИРОВАНИЯ

**42/ АЛЕКСЕЙ КАВЕРИН, ЮРИЙ АРПИШКИН, ИВАН ГРЕБЕНЩИКОВ,
ЛЮБОВЬ МЕДВЕДЕВА, ГЛЕБ РОМАНОВ**

ПОЛИЦЕНТР: модель размещения мест труда, проживания и обслуживания

70/ МАКСИМИЛИАН ГОСТЕВ

**Эволюционное развитие систем городского землепользования и транспорта:
разработка эвристической модели**

93/ ПАВЕЛ ДОНСКОЙ, ПЕТР МАЛАХАЛЬЦЕВ

On demand: адаптивные маршруты общественного транспорта

РЕЦЕНЗИИ

126/ АРТЕМ ГЕРАСИМЕНКО

Принципы справедливой мобильности как основной ответ на глобальные кризисы.

Рецензия на книгу Мими Шеллер «Справедливая мобильность: политика перемещения в эпоху крайностей»

CONTENTS

TRANSPORT IN PERMANENT CRISIS ERA

7/ ALEJANDRO TIRACHINI, ODED CATS

COVID-19 Public Transportation: Current Assessment, Prospects, Research Needs

30/ GRAHAM CURRIE

Lies, Damned Lies, Avs, Shared Mobility, and Urban Transit Futures

TRANSPORT AS AN OBJECT OF MODELING

42/ ALEKSEI KAVERIN, YURI ARPISHKIN, IVAN GREBENSCHIKOV, LYUBOV MEDVEDEVA,
GLEB ROMANOV

POLICENTER: A Workplace, Housing and Public Services Placement Optimization Model

70/ MAKSIMILIAN GOSTEV

The Evolutionary Development of Urban Land-Use and Transport Systems: Heuristic Model Engineering

93/ PAVEL DONSKOI, PETR MALAKHALTSEV

On-Demand: Adaptive Routes for Public Transportation

REVIEWS

126/ ARTEM GERASIMENKO

Equitable Mobility Principles as the Key Response for Global Crisis

Book review on 'Mobility Justice. The Politics of Movement in an Age of Extremes', by Mimi Sheller

АЛЕХАНДРО ТИРАЧИНИ, ОДЕД КАТС COVID-19 И ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ:

ТЕКУЩАЯ ОЦЕНКА, ПЕРСПЕКТИВЫ И ПОТРЕБНОСТИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ¹

Александр Тирачини, доцент отделения гражданского строительства, Чилийский университет; Chile, Santiago, Beauchef 850.

E-mail: alejandro.tirachini@ing.uchile.cl

Одед Катс, доцент отделения транспорта и проектирования, содиректор Лаборатории умного общественного транспорта (Smart Public Transport Lab), Делфтский технический университет; Netherlands, 2628 CN, Delft, Stevinweg 1, bldg. 23.

E-mail: o.cats@tudelft.nl

Пандемия COVID-19 представляет собой серьезную проблему для современного общественного транспорта во всем мире, так как является причиной беспрецедентного падения спроса и доходов. В этой статье обобщаются различные ответные меры, принятые правительствами и операторами общественного транспорта в разных странах по всему миру, и проясняется потребность в исследованиях минимизации риска заражения в общественном транспорте в период после локдауна. Хотя в ряде стран ставка сделана на соблюдение физического дистанцирования (что ставит под сомнение саму концепцию общественного транспорта), последние исследования показывают, что в закрытых средах, таких как общественный транспорт, вероятность заражения значительно снижается за счет правильного использования защитных масок. Возможные экономические и социальные последствия вспышки COVID-19 в общественном транспорте выходят далеко за рамки вопроса качества обслуживания и рисков для здоровья и влияют на финансовую жизнеспособность, социальную справедливость и устойчивую мобильность населения. Существует риск того, что если сектор общественного транспорта будет восприниматься как плохо приспособленный к функционированию в постпандемических условиях, то может распространиться и, возможно, закрепиться его восприятие как эпидемически опасного места. Поэтому авторы определяют потребности и излагают программу исследований эффективности альтернативных стратегий и сценариев для общественного здоровья, в частности мер по снижению скопления людей в общественном транспорте. Даются обзор и прогноз, позволяющие тем, кто определяет политику в области общественного транспорта, специалистам по планированию и исследователям составить карту текущего состояния дел и потребностей в исследованиях, связанных с воздействием пандемического кризиса на общественный транспорт. Некоторые вопросы требуют безотлагательного внимания, ведь в конечном итоге в некоторых странах на карту поставлено восстановление способности систем общественного транспорта выполнять свою социальную функцию.

Ключевые слова: COVID-19; эпидемия; общественный транспорт; устойчивость; безопасность; способность к восстановлению; здравоохранение

Цитирование: Тирачини А., Катс О. (2019) COVID-19 и общественный транспорт: текущая оценка, перспективы и потребности в исследованиях // Городские исследования и практики. Т. 4. № 4. С. 7–29. DOI: <https://doi.org/10.17323/usp4420197-29>

Введение

Быстрое распространение вируса COVID-19, за считанные недели превратившегося во всемирную пандемию, объясняют гипермобильностью нашего образа жизни, глобализацией, а также транспортной связностью и доступностью Ухани, первого эпицентра вспышки болезни [Musselwhite, Avineri, Susilo, 2020]. За прошедшее время пандемия COVID-19 оказала серьезное влияние на образ жизни и передвижения людей по всему миру — от резкого сокращения авиаперелетов до беспрецедентного роста масштабов удаленной работы. Это стало результатом мер, предпринятых государственными властями (например, ограничения и запреты на пере-

¹ Перевод с английского по изданию: Tirachini A., Cats O. (2020) COVID-19 Public Transportation: Current Assessment, Prospects, Research Needs // Journal of Public Transportation. Vol. 22. No. 1. P. 1–21. CC BY-NC 4.0

движение и закрытие целых секторов экономики), а также индивидуальных решений воздерживаться от поездок, чтобы сократить контакты с другими людьми и риск заражения.

Городской трафик снизился во всем мире, но по-разному для разных видов транспорта: как показывают данные опросов, общественный транспорт понес самые тяжелые потери [Molloy et al., 2020; Astroza et al., 2020]. В некоторых случаях это сопровождалось сокращением предложения услуг и усугублялось восприятием общественного транспорта как способа передвижения, более рискованного, чем частный или личный транспорт, из-за возможного, а иногда и неизбежного более тесного контакта с другими людьми как в самих транспортных средствах, так и при использовании его инфраструктуры. На *рис. 1* показана динамика загрузки узлов общественного транспорта на основе данных Google Mobility Reports. Базовый показатель для сравнения — медианное значение для соответствующего дня недели на протяжении пяти недель с 3 января по 6 февраля 2020 года [Google, 2020].

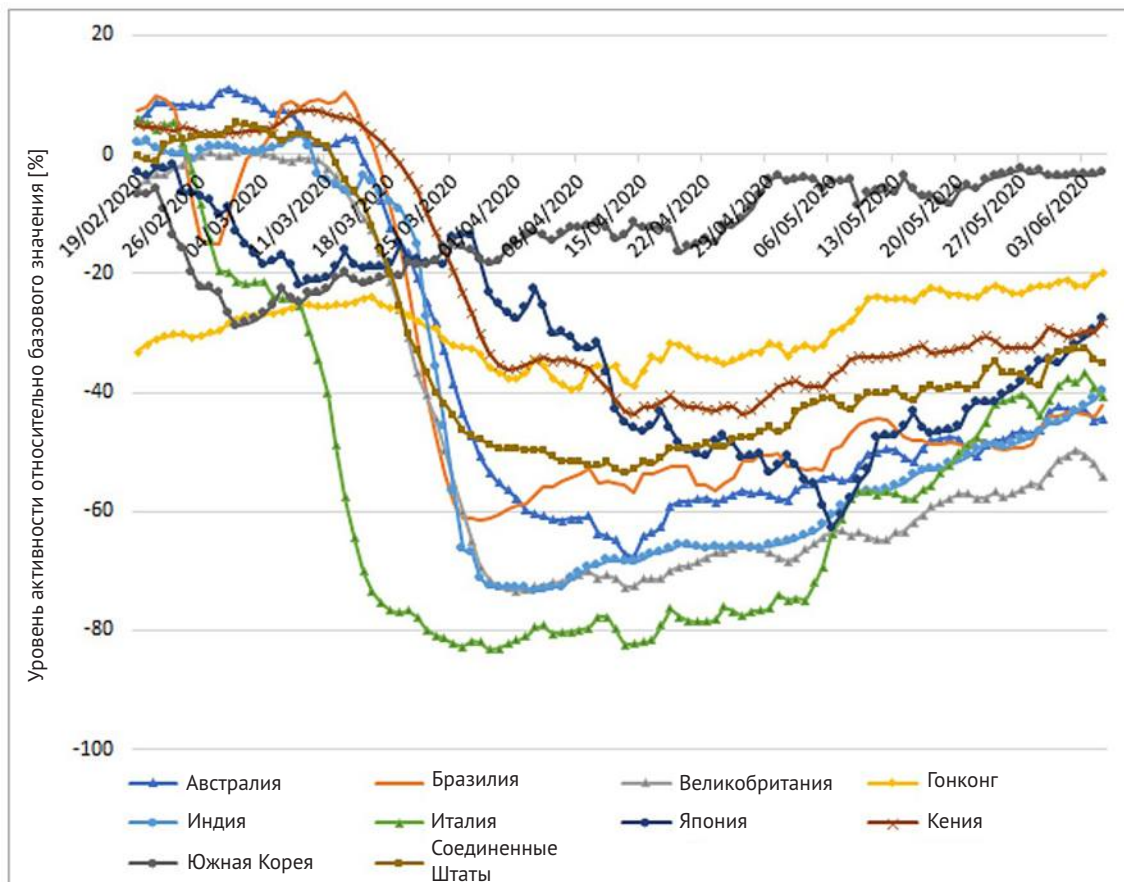


Рис. 1. Динамика использования узлов общественного транспорта (автобусные и железнодорожные вокзалы и станции метро); пятидневная скользящая средняя с 15 февраля по 5 июня 2020 года

Источник: данные Google Mobility Reports.

Тот факт, что носитель нового коронавируса COVID-19 становится распространителем инфекции задолго до появления у него каких-либо симптомов [Javid, Weekes, Matheson, 2020; Ferretti et al., 2020], вызывает особую тревогу ввиду опасности распространения вируса в общественных местах. На станциях общественного транспорта и в транспортных средствах повышению риска заражения COVID-19 способствуют несколько факторов [UITP, 2020]:

1. Люди находятся в ограниченном пространстве. Риск заражения увеличивается с увеличением наполняемости транспортных средств и станций. С началом пандемии COVID-19 дискомфорт, связанный с поездкой в переполненных автобусах или поездах, увеличился из-за дополнительного риска заражения потенциально смертельным вирусом, против которого еще не было вакцины.

2. Возможности для выявления зараженных пассажиров или сотрудников крайне ограничены.
3. Наличие множества поверхностей, таких как сиденья, поручни, двери и билетные автоматы, через которые легко может передаваться инфекция.

И все же есть способы снизить или устранить риски, связанные со всеми этими факторами, и они будут рассмотрены в этой статье. Более того, неясен уровень риска заразиться COVID-19 при использовании общественного транспорта по сравнению с аналогичным риском при посещении прочих общественных мест, поскольку на определение фактических уровней риска в различных средах влияет взаимодействие несколько переменных.

Рекомендации властей по поводу использования общественного транспорта в условиях пандемии COVID-19 во всем мире заметно различаются. С одной стороны, власти прямо призывали ограничить использование общественного транспорта. В Великобритании однозначно рекомендуют: «По возможности избегайте использования общественного транспорта» и «Прежде чем пользоваться общественным транспортом, убедитесь, что любыми другими видами транспорта воспользоваться не получится» [DfT, 2020]. Правительство Нидерландов тоже советует пользоваться общественным транспортом «только в том случае, если это действительно необходимо и у вас нет других транспортных средств; также по возможности избегайте поездок в пиковое время» [Rijksoverheid, 2020]. В Соединенных Штатах работодателям рекомендовано «предлагать сотрудникам стимулы к использованию таких видов транспорта, которые сводят к минимуму тесный контакт с другими людьми (например, передвижение пешком или на велосипеде, поездки на личном автомобиле в одиночку или с членами семьи)» [CDC, 2020b]. Такие рекомендации могут дополняться строгими правилами физического дистанцирования. Например, в мае 2020 года в Новом Южном Уэльсе, Австралия, максимальное число пассажиров, перевозимых в стандартных городских автобусах и вагонах поездов, было ограничено 12 и 32 пассажирами соответственно [Terrill, 2020].

С другой стороны, в некоторых странах, особенно в Азии, власти не вводили строгих ограничений и не давали строгих рекомендаций. В ряде городов Китая наполняемость автобусов уменьшили только до 50%, что позволило занимать все сидячие места, при этом выполнение требований наполняемости контролируется видеонаблюдением в салоне [Wong, 2020]. В поездках метро на Тайване и в Южной Корее — в странах, где в общественных местах обязательно использование масок, а вспышка COVID-19 в значительной степени сдерживается, — в пиковые часы наблюдается высокая загруженность, значительно превышающая ту, при которой возможно соблюдать рекомендованную физическую дистанцию (1–2 м между людьми). Более того, при открытии экономики Сингапура после локдауна правительственное управление по противодействию COVID-19 прямо заявило, что с 8 июня массовые мероприятия будут по-прежнему запрещены, но физическое дистанцирование в общественном транспорте не будет обязательным, пока пассажиры носят маски и не общаются друг с другом, чтобы минимизировать риски заражения [How, Thiagarajan, 2020]. Различия в рекомендациях и правилах разных стран в отношении общественного транспорта можно объяснить различиями в текущей ситуации с распространением COVID-19 среди их населения, однако на это, несомненно, влияет гораздо больше факторов. Целесообразность мер, сдерживающих распространение вируса, в каждой стране будет пересматриваться по мере развития пандемии.

В этой статье мы анализируем важные вопросы, касающиеся использования общественного транспорта во время пандемии COVID-19. Некоторые из них позволяют составить представление о палитре принятых в разных странах подходов к использованию общественного транспорта. Мировой пандемический кризис — быстро развивающееся событие с быстро растущим, но ограниченным и неубедительным корпусом научных данных по ключевым вопросам, касающимся путей передачи вируса и эффективности мер профилактики. Мы проанализируем доступные на начало июня 2020 года данные о нескольких факторах, имеющих отношение к общественному транспорту в условиях пандемии COVID-19. Затем, опираясь на эту информацию, мы предложим исследовательскую повестку.

Некоторые из обсуждаемых тем относятся к периоду первоначального кризиса или локдауна, когда федеральные власти, правительства штатов и местные власти предпринимали широкомасштабные меры по сдерживанию распространения вируса, обычно подразумевающие запрет всех поездок, за исключением абсолютно необходимых, для всех лиц и любых транспортных средств. Тем не менее большая часть поднятых нами вопросов будет связана

с периодом после локдауна, который в общих чертах определяется как фаза, когда острая часть кризиса миновала и люди постепенно возвращаются к делам, приостановленным ранее из-за COVID-19. Этот постизоляционный период может быть достаточно долгим, поскольку, как ожидается, он будет длиться до тех пор, пока среди населения не будет достаточно людей с иммунитетом. Более того, нет уверенности в том, что после первого кризиса нас не ждут новые волны широкого распространения инфекции.

Последствия COVID-19 и новые правила использования общественного транспорта

Введение правила физического дистанцирования

Респираторные инфекции вроде COVID-19 передаются воздушным путем через капли (от 5 до 10 мкм) и аэрозоли (менее 5 мкм), выдыхаемые инфицированными людьми при дыхании, разговоре, кашле и чихании [Prather, Wang, Schooley, 2020]. Хотя относительно разных путей заражения COVID-19 все еще сохраняется неясность [Leung et al., 2020; Han et al., 2020], передача воздушно-капельным путем в закрытых помещениях подтверждена рядом авторов [Morawska, Cao, 2020; Shen et al., 2020; Prather, Wang, Schooley, 2020; Buonanno, Stabile, Morawska, 2020]. Следовательно, нахождение в закрытых помещениях, как правило, опаснее, чем на открытом воздухе [Nishiura et al., 2020; Qian et al., 2020]. В воздухе помещений аэрозоли могут накапливаться и часами оставаться заразными [Prather, Wang, Schooley, 2020], что во время пандемии COVID-19 является серьезнейшей проблемой для общественного транспорта и возвращения людей к повседневной деятельности в других закрытых помещениях. Например, в рекомендациях по возобновлению деятельности на рабочих местах подчеркивается важность естественной вентиляции, фильтрации воздуха и соблюдения сотрудниками строгих правил гигиены — и это помимо очистки и дезинфекции контактных поверхностей и ряда других действий [CDC, 2020b].

Физическое дистанцирование (также называемое социальным дистанцированием) возникло как одна из наиболее широко применяемых нефармацевтических мер предотвращения передачи COVID-19. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует держаться на расстоянии не менее 1 м от других людей [WHO, 2020b], в то время как некоторые национальные организации здравоохранения считают необходимым физическое расстояние в 2 м, чтобы снизить риск передачи инфекции [CDC, 2020a]. Было установлено, что расстояние не менее 1 м значительно снижает вероятность заражения [Chu et al., 2020]. Среди нефармацевтических профилактических мер рекомендации по физическому дистанцированию являются наиболее важными и последовательными для работы общественного транспорта, притом того, что физическое дистанцирование существенно снижает провозную способность транспортных средств и инфраструктуры. Оно попросту противоречит концепции общественного транспорта [Musselwhite, Avineri, Susilo, 2020].

Текущие исследования показывают, что общий совет держаться на расстоянии 1, 1,5 или 2 м от других людей в качестве меры предосторожности работает на открытом воздухе и при кратковременном контакте, но в случае закрытых помещений эффективность дистанцирования под вопросом, поскольку зарегистрированы случаи передачи инфекции от зараженных людей здоровым и на расстояниях, превышающих 2 м. Исследователи [Shen et al., 2020] описывают случай в январе 2020 года в Нинбо, Китай, когда один бессимптомный инфицированный за две 50-минутные поездки передал вирус 22 из 67 пассажиров, ехавших с ним в одних автобусах. Сами пассажиры при этом были без масок. Текущие исследования подтверждают, что продолжительность контакта тоже важна [Prather, Wang, Schooley, 2020; SAGE, 2020], однако на момент написания этой статьи все еще неизвестно, как в зависимости от этой продолжительности растет вероятность заражения. Этот показатель особенно важен для использования общественного транспорта, чтобы иметь возможность оценить неизбежные риски длительных поездок по сравнению с короткими поездками. В целом не вызывает сомнений, что без использования средств персональной защиты, частой уборки и вентиляции общественный транспорт по всем пунктам окажется главным распространителем вируса: это закрытая среда, в которой люди могут находиться в течение длительного времени. В таком случае физическое дистанцирование может снизить количество инфицированных, но само по себе оно не поможет остановить его распространение, если не будет дополнено другими мерами вроде общеобязательного ношения защитных масок.

Использование защитных масок

Использование медицинских масок лицами, не имеющими симптомов заболевания, в качестве меры по сдерживанию распространения вируса было предметом дискуссий особенно в первые месяцы пандемии [Javid, Weekes, Matheson, 2020; Greenhalgh et al., 2020]. Аргументы против требования широкого использования защитных масок включали вначале указание на нехватку доказательств их эффективности, повсеместное неправильное использование из-за отсутствия инструкций по ношению и более высокую вероятность рискованного поведения со стороны тех, кто носит маски [Greenhalgh et al., 2020]. В первые несколько месяцев пандемии ВОЗ рекомендовала использовать защитные маски только людям с респираторными симптомами и медицинским работникам [WHO, 2020b]. Однако 5 июня 2020 года ВОЗ пересмотрела свои рекомендации, призвав всех использовать немедицинские (тканевые) маски в общественных местах, в том числе в общественном транспорте, а уязвимые группы населения перейти на медицинские маски [WHO, 2020a]. Вслед за ВОЗ Центр по контролю и профилактике заболеваний США также поначалу рекомендовал не использовать защитные маски, но в апреле 2020 года пересмотрел эту рекомендацию и предложил использовать в общественных местах тканевые маски [CDC, 2020a], очевидно, из-за нехватки хирургических масок и вместо них [Greenhalgh et al., 2020]. Исследования эффективности разных тканей для фильтрации аэрозольных частиц [Konda et al., 2020] показали, что при использовании нескольких слоев и при сочетании разных тканей (например, хлопок и шелк, хлопок и шифон) уровень фильтрации может быть сопоставим с таковым у медицинских масок.

Хотя во многих странах преобладали сомнения относительно необходимости повсеместного использования масок, особенно в первые месяцы кризиса, последние исследования показывают, что ношение масок имеет решающее значение для сдерживания COVID-19. Защитные маски могут значительно снизить количество вируса в выдыхаемом воздухе [Chu et al., 2020; Leung et al., 2020], особенно в случае бессимптомных носителей и людей с легкими симптомами [Prather, Wang, Schooley, 2020]. Установлено, что фильтрующая способность тканевых масок составляет более 80% для частиц <300 нм и более 90% для частиц > 300 нм, особенно если используются комбинации из обычных тканей, включая хлопок, шелк, шифон и фланель [Konda et al., 2020]. Поскольку возможный положительный эффект в области общественного здоровья, вероятно, в значительной степени перевешивает связанные с этим риски, «принцип предосторожности» теперь требует широкого использования защитных масок во время пандемии [Greenhalgh et al., 2020; Javid, Weekes, Matheson, 2020]. Эпидемиологические данные свидетельствуют, что страны, эффективно сдерживающие распространение вируса, — например, Тайвань, Япония, Гонконг, Сингапур и Южная Корея, — ввели всеобщее требование носить маски [Prather, Wang, Schooley, 2020]. Кроме того, имитационные модели предсказали, что широкое применение защитных масок населением эффективно снижает смертность от COVID-19 на уровне города или страны [Eikenberry et al., 2020; Ngonghala et al., 2020]. Обучение правильному использованию масок так же важно, как и обеспечение того, чтобы их носили все, потому что неправильно надетая маска снижает эффективность фильтрации аэрозолей на 60% [Konda et al., 2020].

Таким образом, накопленные данные свидетельствуют, что использование защитных масок в общественном транспорте может быть эффективным способом остановить передачу вируса только в том случае, если используются надлежащие маски и люди знают, как их надевать и как правильно обращаться с ними. Кампания за ношение защитных масок должна обеспечивать и доступность масок для населения, и информирование людей о способах их использования. Устройства защиты глаз тоже снижают вероятность заражения COVID-19 [Chu et al., 2020], хотя, конечно, их использование нигде не делалось обязательным для всех пассажиров общественного транспорта. Ношение защитных щитков может быть одной из мер защиты работников общественного транспорта с повышенным риском заражения, таких как водители автобусов.

Гигиена, дезинфекция и вентиляция

Что касается усиленных требований по гигиене и уборке, то было обнаружено, что на различных типах поверхностей, включая пластик и нержавеющей сталь, вирус COVID-19 остается разным от нескольких часов до нескольких дней [Fa-Chun et al., 2020; van Doremalen et al., 2020]. Следовательно, физический контакт с загрязненной поверхностью является потенциальным

способом передачи COVID-19. Это подразумевает необходимость в качестве рекомендуемой профилактической меры частой санитарной обработки поверхностей, к которым прикасаются пассажиры, как в салонах транспортных средств, так и на станциях. Дезинфекция транспортных средств и станций общественного транспорта получила широкое распространение во всем мире, хотя и будучи разного уровня интенсивности в зависимости от степени организованности и ресурсов конкретных транспортных операторов. В некоторых инструкциях уже рекомендуют принять усиленные гигиенические меры для работников общественного транспорта, причем не только в самих транспортных средствах и на станциях, но также в раздевалках, переговорных комнатах и офисах [GIZ, 2020; UITP, 2020]. Строгих оценок результативности этих мер нет, но они очень нужны. В посткарантинный период, возможно, потребуется сохранить элементы личной защиты и гигиенические меры, чтобы успокоить персонал и пассажиров и поддержать доверие к системе общественного транспорта, даже если риск инфицирования будет считаться низким [UITP, 2020]. Соответствующая информация должна постоянно доводиться до пассажиров и включать стандарты поведения и гигиены, методы правильного использования средств индивидуальной защиты и требование не пользоваться общественным транспортом, если у пассажира проявляются такие симптомы, как повышенная температура тела и кашель [GIZ, 2020].

Все еще неясно, может ли использование систем кондиционирования воздуха способствовать распространению вируса COVID-19 и приводить к его передаче на большем расстоянии от источника заражения. Скорее всего, все зависит от использования рециркулируемого воздуха. Согласно некоторым данным, системы кондиционирования могут играть определенную роль в заражении в закрытых помещениях, например в ресторанах [Jianyun et al., 2020]. Центр по контролю и профилактике заболеваний США рекомендует использовать системы вентиляции/кондиционирования воздуха с отключенной рециркуляцией [CDC, 2020c]. В качестве профилактической меры обычно рекомендуется частое проветривание закрытых пространств вроде салонов общественного транспорта [Buonanno, Stabile, Morawska, 2020; CDC, 2020c; SAGE, 2020], что особенно актуально для водителей, которые проводят в своих транспортных средствах по несколько часов подряд. В Великобритании в отсутствие специальных инструкций по вентиляции воздуха в общественном транспорте рекомендуется следовать нормативам по скорости вентиляционного потока для зданий, которая составляет 8–10 л/сек./чел. (литров в секунду на человека) свежего воздуха без рециркуляции [SAGE, 2020].

Экономические и социальные последствия эпидемии COVID-19 для систем общественного транспорта

Финансовые потери

За считанные недели пандемия COVID-19 переросла в крупнейший экономический кризис для системы общественного транспорта за многие десятилетия. Резкое снижение спроса на общественный транспорт из-за пандемии сочеталось с возросшими издержками из-за новых стандартов гигиены и уборки. В этих условиях многие предприятия общественного транспорта испытывают финансовые трудности и вынуждены обращаться за помощью к правительствам. Крупнейшее агентство общественного транспорта США, Управление городского транспорта Нью-Йорка, запросило помощь в размере 4 миллиардов долл. в связи с пандемией COVID-19 [Goldbaum, 2020]. В других странах, таких как Чили, правительство согласилось компенсировать автобусным операторам в столице страны Сантьяго снижение спроса на их услуги (до 80%) [DF, 2020]. Правительство Нидерландов выделило 1,5 миллиарда евро на компенсацию Нидерландским железным дорогам (NS) и трем операторам городского общественного транспорта в Амстердаме, Гааге и Роттердаме [NOS, 2020]. Правительство Швеции перечислило 3 миллиарда шведских крон на покрытие общенациональных потерь в выручке от продажи билетов [Sverigesradio, 2020]. Дополнительная проблема для операторов, ищущих финансовой помощи, заключается в том, что пандемия COVID-19 негативно влияет на доступность государственных средств в целом, учитывая, что правительства сталкиваются с большим количеством социальных нужд, требующих финансовой поддержки (например, увеличение количества безработных, риски массовых банкротств малого бизнеса, рост расходов на больницы и здравоохранение), и при этом ожидают снижения налоговых поступлений. В этих условиях общественный

транспорт вынужден конкурировать за финансовую поддержку с рядом других социальных нужд.

По части оплаты проезда новые правила использования общественного транспорта тоже могут иметь нежелательные последствия и вести к сокращению доходов. Там, где водители физически не отделены от пассажиров, может быть организована обязательная посадка через заднюю дверь во избежание контакта между водителями и пассажирами. Эта система применяется в таких городах, как Сантьяго и Монреаль, а также в Нидерландах с марта 2020 года. Но в системах, в которых посадка пассажиров через переднюю дверь была предусмотрена для оплаты проезда, посадка через заднюю дверь сопряжена с финансовыми рисками и подталкивает или вынуждает пассажиров не оплачивать проезд. Вдобавок из-за повышенного риска заражения может оказаться невозможной традиционная работа контролеров, которые проверяли наличие у пассажиров действительных разовых или проездных билетов [UITP, 2020]. Это может привести к увеличению случаев уклонения от оплаты проезда, если нет альтернативного способа оплаты.

Самая большая проблема, с которой придется столкнуться из-за снижения спроса и связанных с этим финансовых потерь, — возможность банкротства поставщиков услуг общественного транспорта, если не будут предприняты меры по их спасению. Одни страны могут располагать средствами для поддержки общественного транспорта, у других стран таких средств может не быть. В странах с низким уровнем доходов и в развивающихся странах общественный транспорт обычно либо не регулируется вообще, либо регулируется очень плохо, не соблюдает надлежащих стандартов безопасности и гигиены и не получает государственных субсидий. В таких странах доход водителя напрямую зависит от ежедневного количества пассажиров [Tirachini, 2019; Gwilliam, 1999]. Финансовое положение таких систем и людей, занятых предоставлением услуг общественного транспорта, в значительной степени зависит от продолжительности пандемического кризиса, связанного с COVID-19.

Социальная справедливость

Дистанционная работа из дома во время пандемии в основном является привилегией сотрудников с более высокими доходами, о чем свидетельствуют данные из разных стран, включая США [Valentino-DeVries, Lu, Dance, 2020], Канаду [Tanguay, Lachapelle, 2020] и Чили [Astroza et al., 2020; MOVID-19, 2020]. На основе данных опроса 20 000 респондентов в Германии, Великобритании и США исследователи [Adams-Prassl et al., 2020] пришли к выводу, что менее образованные работники и женщины более остро испытывают негативные последствия пандемии для рынка труда. Ожидается, что долгосрочные последствия пандемического кризиса усилят неравенство не только внутри стран, но и между странами из-за различия имеющихся у них возможностей для восстановления от кризиса [The Economist, 2020].

В этом контексте мечта об общественном транспорте как двигателе социальной интеграции, а не социальной сегрегации, кажется сегодня далекой как никогда. В связи с пандемией COVID-19 люди отказываются от общественного транспорта, но эта тенденция неравномерна: представители групп с более высокими доходами чаще перестают пользоваться общественным транспортом. Недавнее исследование, сравнивающее поездки, совершенные за неделю до начала коронавирусного кризиса в Сантьяго, с поездками в первую неделю после введения общенациональных мер по сдерживанию распространения вируса в марте 2020 года показало, что люди из семей с более высокими доходами были самой большой группой, прекратившей пользоваться общественным транспортом. Если для семей с самыми низкими доходами количество поездок на общественном транспорте сократилось на 30–40%, то для семей с самыми высокими доходами оно снизилось более чем на 70% [Tirachini et al., 2020]. Эти цифры являются количественным подтверждением тезиса, что общественным транспортом перестают пользоваться в основном те, у кого есть такая возможность — работать из дома, иметь средства для оплаты альтернативных видов транспорта и совершать покупки в интернете, — в то время как те, кто продолжает пользоваться общественным транспортом, — это в основном люди с более низкими доходами. Эта разница в скорости адаптации транспортного поведения между разными социальными группами, вероятно, в некоторой степени сохранится и в посткризисный период. Следовательно, улучшение общественного транспорта сегодня, более чем когда-либо, является вопросом социальной справедливости.

Устойчивая мобильность

Резкое сокращение спроса на общественный транспорт из-за соблюдения мер физического дистанцирования и опасения заразиться поднимает ряд вопросов об устойчивости городской мобильности в будущем. Разработка плана по обеспечению безопасности общественного транспорта в переходный период (после снятия локдауна), который, вероятно, будет достаточно продолжительным (пока иммунитет к вирусу не станет широко распространенным), требует ряда скоординированных действий со стороны политиков, операторов общественного транспорта, его сотрудников и пользователей. Цель должна заключаться в том, чтобы общественный транспорт был максимально безопасным и мог оказывать услуги и привлекать не только тех пассажиров, у которых нет реальной альтернативы.

Если автобусы и поезда в эпоху COVID-19 выходят на маршруты практически пустыми, то доводы об экономической и экологической эффективности общественного транспорта перестают работать, и единственным аргументом остается необходимость обеспечивать передвижение тем, кто вынужден совершать поездки, потому что общественный транспорт — это единственный доступный им способ передвижения. Если вводятся новые правила физического дистанцирования и заполняемости транспорта, то необходимо изучать порог спроса (то есть точку окупаемости) ввиду заполняемости общественного транспорта, чтобы сделать автобусы более эффективными, чем личные автомобили, с точки зрения энергопотребления, загрузки дорожного движения и загрязнения окружающей среды. Рассмотрим, например, использование дорожного пространства. До начала пандемии автобусы в Сантьяго перевозили в среднем от 28 до 65 пассажиров (с учетом пиковых и внепиковых периодов), в то время как автомобили имели среднюю наполняемость от 1,4 до 1,5 пассажира на автомобиль [SECTRA, 2013]. Таким образом, с учетом эквивалентности в плане машиномест двух-трех автомобилей автобусу, те, кто пользуется автомобилями, занимают в 10–15 раз больше места на дороге, чем те, кто пользуется автобусами. Тогда даже при значительном снижении средней заполняемости автобуса он остается более эффективным способом использования дорожного пространства, чем личный автомобиль.

Движение вперед: направления политики и программа исследований

Ниже мы определим и обсудим ключевые направления возможной политики, а также области, в которых нам требуется больше данных. В этом разделе мы составим программу исследований, которые должны устранить выявленные пробелы в наших знаниях, обсудим вопросы, касающиеся требований здравоохранения, и меры по предотвращению скопления людей в общественном транспорте.

Учет факторов общественного здоровья при транспортном планировании

Включение факторов здравоохранения в планирование обслуживания

Пассажирские перевозки, при которых люди используют одни и те же объекты инфраструктуры и транспортные средства, особенно опасны с точки зрения распространения вируса, если не принимаются надлежащие меры. Это особенно актуально для массового общественного транспорта, где множество пассажиров из разных пунктов отправления едут в разные пункты назначения в условиях большого одновременного скопления людей. Какие издержки должна нести система общественного транспорта — в форме профилактических мер и увеличения времени работы, — чтобы снизить риски для здоровья населения, связанные с инфекцией? Хотя пандемия и вызывает беспокойство, у общества есть пределы того, сколь многим они готовы пожертвовать ради спасения жизни. Независимо от приемлемого уровня риска это требует принятия моральных решений — ситуация отнюдь не новая в области транспортной политики [Chorus, 2020]. Взять хотя бы решение, куда вкладывать средства — в пересадочную станцию, которая экономит время пассажиров, или в меры безопасности, которые должны снизить риск несчастных случаев со смертельным исходом. Кроме того, в случае принятия решений в контексте COVID-19 это предполагает компромисс между абстрактными, но серьезными рисками и неудобствами для многих пассажиров. Поэтому необходимо разрабатывать методы

принятия обоснованных решений, и нужны специалисты, способные довести как до сведения лиц, принимающих решения, так и до общественности, информацию о возникающих дилеммах и принимаемых решениях.

Физическое дистанцирование в общественном транспорте

В период локдауна сложился консенсус, что следует минимизировать любые поездки, разрешив только абсолютно необходимые или неизбежные. Теперь, когда после снятия локдауна люди возвращаются к привычным делам, встает вопрос о необходимости соблюдения физического дистанцирования в общественном транспорте. Скучные эмпирические исследования, доступные на настоящий момент, не дают убедительных доказательств эффективности физического дистанцирования в закрытых пространствах, таких как инфраструктура общественного транспорта и сами транспортные средства. Есть некоторые свидетельства в пользу того, что необходимость в физическом дистанцировании в общественном транспорте может быть значительно снижена, если применяются другие нефармацевтические меры, например правильное использование защитных масок, усиление гигиенических мер или даже запрет на разговоры (так в Сингапуре). С одной стороны, если в помещениях заражение из-за воздушного переноса может происходить и на расстоянии более двух метров [Shen et al., 2020; Prather, Wang, Schooley, 2020; Morawska, Cao, 2020; Setti et al., 2020], то риск распространения вируса — без использования средств индивидуальной защиты — сохраняется даже при соблюдении физической дистанции. В присутствии инфицированного пассажира, если не все пассажиры носят маски, физическое дистанцирование может помочь уменьшить количество инфицированных, но не предотвратит заражение полностью. С другой стороны, последние эпидемиологические исследования показывают, что маски эффективны для предотвращения или, по крайней мере, для значительного сокращения распространения вируса [Leung et al., 2020; Prather, Wang, Schooley, 2020; Chu et al., 2020]. Есть примеры систем общественного транспорта, в которых в настоящее время осуществляется перевозка большого количества пассажиров, при этом расстояние между пассажирами менее 2 м, но никаких вспышек COVID-19, обусловленных общественным транспортом, не регистрируется, поскольку все носят защитные маски. Так, например, в Японии. В этой стране недавно было выявлено, что большинство кластеров заражения возникали в тех местах, где люди собираются, едят, пьют, общаются и поют, — в тренажерных залах, барах, залах с живой музыкой и караоке-залах. Ни один из крупных кластеров заражения не был связан с электричками. В качестве одного из возможных объяснений таких результатов Хитоши Оситани выдвинул предположение, что разговоры на близком расстоянии между незнакомцами в общественном транспорте случаются нечасто [Normile, 2020]. Эти результаты вдохновили власти Сингапура не применять строгие правила физического дистанцирования в общественном транспорте, а требовать от пассажиров носить защитные маски и не разговаривать друг с другом.

Хотя влияние обязательного ношения защитных масок на повышение инфекционной безопасности потенциально велико, неизвестно, насколько безопаснее становится транспортное средство или станция общественного транспорта, если разные типы масок (хирургические, тканевые, N95) на разных этапах пандемии носят все пассажиры, а не только часть из них. Это вопрос первостепенной важности, поскольку он может помочь в определении «разумного» уровня наполняемости общественного транспорта, что имеет значительные экономические, эксплуатационные и социальные последствия. Другими словами, если физическое дистанцирование в общественном транспорте не работает должным образом, когда люди не носят средства индивидуальной защиты, то какой должна быть максимальная наполняемость транспортных средств, если все пассажиры используют защитные маски и носят их правильно? Текущий опыт крупных городов Азии, таких как Токио и Сеул, показывает, что в общественном транспорте физическое дистанцирование меньше 1 м хорошо работает при использовании всеми пассажирами защитных масок и высоких стандартах гигиены; однако распространенность вируса в этих местах сейчас неизвестна. Необходимо внимательно изучать эволюцию такого подхода к общественному транспорту, — без необходимости строгого выполнения правил физического дистанцирования, — чтобы понять условия, при которых его можно воспроизвести в других городах по всему миру.

Стоит подчеркнуть, что убедительных количественных данных по риску передачи COVID-19 в общественном транспорте при различных правилах его использования и эксплуатации (включая принятие превентивных стратегий) по-прежнему мало, и ожидается, что в ближайшие месяцы будут возникать новые идеи и подходы. Проблема, возникшая из-за применения новых норм максимальной наполняемости, которые основаны на требованиях к соблюдению физического дистанцирования, — это многогранная проблема, решение которой зависит помимо прочего от использования индивидуальных средств защиты, нормативов санитарной обработки и вентиляции. Однако условия, при которых будет допускаться несоблюдение физического дистанцирования, вероятно, не будут однозначными, ведь некоторые пассажиры не будут (правильно) носить маски. Поэтому далее мы все же будем говорить, что какая-то форма физического дистанцирования нужна, и такое требование уже есть во многих странах.

Компромисс между эффективностью, полезностью и надежностью обслуживания в контексте COVID-19

Как ясно и болезненно продемонстрировал этот кризис, сообщаемость, обеспечиваемая всеми видами транспорта, является не только активом и катализатором обмена идеями и товарами, но и потенциальным катализатором бедствий, таких как пандемия. Надежность системы определяется ее способностью противостоять шоковым внешним воздействиям и восстанавливать свою работоспособность. Предоставление услуг общественного транспорта в эпоху пандемии и после нее предполагает компромисс между полезностью (доступность и уровень предлагаемых услуг), надежностью (риски для здоровья, связанные с поездкой на общественном транспорте) и эффективностью (количество ресурсов, необходимых для предоставления данной услуги). Как это часто бывает, между эффективностью и надежностью есть внутренний конфликт, поскольку последняя требует закладывать больше запаса и держать больше резервов, что подразумевает избыточность при нормальных обстоятельствах. Это вызывает особый стресс, учитывая и без того неблагоприятные финансовые условия, с которыми сталкиваются многие поставщики услуг общественного транспорта во всем мире. В контексте требований по соблюдению мер физического дистанцирования и, следовательно, пониженного стандарта провозной способности, надежное решение будет включать не только неэффективность с точки зрения оператора (то есть требовать дополнительных ресурсов), но также снижение полезности, поскольку приводит к снижению уровня обслуживания в связи с ожидаемой меньшей частотой движения и, следовательно, более длительным временем ожидания в посткризисной фазе.

Измерение устойчивости системы и ее способности восстанавливать функциональность

Учитывая важность систем общественного транспорта в качестве инфраструктуры жизнеобеспечения населения и для общества в целом [Homeland Security, 2010], необходимо разработать меры по смягчению последствий распространения вируса для этих систем, максимально сохранив при этом их функциональность в качестве такой инфраструктуры. Модель «ванны» [McDaniels et al., 2008] может служить концептуальной основой для анализа эволюции производительности системы в случае сбоя. В контексте общественного транспорта производительность системы может быть определена через процент от первоначальной провозной способности, общее число перевезенных пассажиров, общее число пассажиро-километров и общие потери пассажирского времени, обусловленные нарушением работы транспорта. Концептуализация и анализ надежности и отказоустойчивости систем общественного транспорта в основном ограничивались исследованиями производительности доставки, доступности для пассажиров и связности [Jenelius, Cats, 2015; Bešinović, 2020]. Пандемия вызвала системный шок, который, в свою очередь, спровоцировал резкое снижение производительности системы, последствия чего отразились на ее основных функциях. В настоящее время разные регионы мира находятся в разных фазах восстановления. В период восстановления производительность системы растет, хотя нет никаких гарантий, что (1) восстановление системы будет происходить линейно, — возможны осложнения, такие как еще более жесткие ограничительные меры, введенные после так называемой «второй вол-

ны», а (2) производительность системы восстановится до исходного допандемийного уровня (то есть восстановление может идти в сторону «новой нормальности»). Это требует разработки концепций и методов для оценки устойчивости системы с учетом последствий для здоровья населения, а также доступности, равного права на использование, надежности и финансовой жизнеспособности.

Оценка распространения вируса в общественном транспорте

Количественная оценка распространения вируса в системах общественного транспорта и понимание этого процесса важны для оценки последствий альтернативных сценариев и стратегий для общественного здоровья. Поэтому крайне необходимо объединить транспортные и эпидемиологические модели, чтобы проанализировать полученные графы контактов и их пространственные последствия [Barabási, 2014; Colizza et al., 2007]. Сеть контактов — это множество пассажиров, с которыми человек может контактировать во время поездки на общественном транспорте. Транспортная модель присвоит сети обслуживания спрос на поездки, и эти выходные данные будут использоваться в качестве входных данных для эпидемиологической модели, которая затем, исходя из распространения вируса, обновляет состояния разных сегментов населения, которому приписан спрос на поездки. Каждый пассажир в каждый конкретный день может иметь одно из следующих состояний: уязвимый (не инфицирован), инфицирован (и ездит), находится на карантине (инфицирован и не ездит) и иммунный (и снова ездит). Затем пассажирский спрос можно применить к сети для анализа эволюции распространения вируса и получения ключевых показателей эффективности, таких как доля инфицированных пассажиров или количество дней, необходимых для сведения к нулю количества новых заражений. Поскольку для распространения вируса требуется физическая близость к инфицированному пассажиру, важно анализировать траектории движения отдельных пассажиров и возникающие в результате уровни скопления людей. Исследователи показали, как это можно сделать, используя детализированные траектории смарт-карт [Krishnakumari, Cats, 2020]. Они оценили условия образования скоплений людей, с которыми сталкивается каждый пассажир на разных участках пути, и вероятность того, что он окажется в непосредственной близости от инфицированного человека, на основе траекторий тех, кто предположительно был инфицирован. Такие возможности моделирования позволяют тестировать потенциальные последствия разных уровней спроса, предоставления транспортных услуг и предполагаемых характеристик распространения вируса и помогают разрабатывать стратегии выхода из кризиса и обустройства постпандемические реалии.

Отслеживание контактов для снижения риска распространения вирусов в общественном транспорте

Медицинские достижения, такие как тестирование большего числа людей и более быстрая постановка диагнозов, окажут значительное влияние на возможное распространение вируса в общественном транспорте за счет сокращения числа инфицированных пассажиров и, следовательно, снижения риска для здоровья других людей. Отслеживание контактов тоже может способствовать сокращению периода контактирования в случае пассажиров, которые являются потенциальными носителями вируса до постановки диагноза. Правительства во всем мире разрабатывают или внедряют приложения для отслеживания контактов, призванные способствовать этому. В контексте общественного транспорта валидация смарт-карт может использоваться для отслеживания контактов внутри транспортной системы, что было реализовано в метрополитене города Вашингтон, округ Колумбия [Krishnakumari, Cats, 2020]. Пассивно собираемые данные об оплате проезда представляют собой уникальный источник данных для отслеживания контактов и поддерживают идентификацию сетей контактов на основе зафиксированных или предполагаемых траекторий движения пассажиров. В системах, которые требуют только прикладывания проездных карт к терминалам оплаты и/или предполагают оплату на станции (а не внутри транспортного средства), применение методов вывода по посадочной станции и транспортному средству будет иметь важное значение.

Избегание толпы: приспособление к правилам физического дистанцирования

Последствия требования дистанцирования для провозной способности

Сегодня сектор общественного транспорта уделяет особое внимание адаптации к требованиям физического дистанцирования, а также дезинфекции транспортных средств и станций, чтобы соответствовать государственным инструкциям и снизить риски для здоровья населения. Однако, как обсуждалось выше, сейчас нет убедительных доказательств действенности строгого соблюдения правил физического дистанцирования (поскольку в закрытых помещениях 2 м, вероятно, недостаточно, если люди не носят средства индивидуальной защиты, и, кроме того, есть примеры систем общественного транспорта с высокой наполняемостью, в которых все пассажиры соблюдают требования масочного режима и которые показывают хорошие результаты). Требования физического дистанцирования соблюдаются за счет резкого снижения объема предлагаемых услуг и, как следствие, способности системы удовлетворять спрос. Например, если предположить, что пассажиры будут размещаться на платформах и в поездах метро так, чтобы обеспечить минимальное расстояние в 1,5 м друг от друга, то вместимость поездов составит 312 пассажиров, то есть снизится более чем на 80% (случай метрополитена Вашингтона [Krishnakumari, Cats, 2020]). Точно так же при выполнении этого условия максимальная наполняемость стандартного 12-метрового автобуса может составить всего 18–20 пассажиров [GIZ, 2020]. Однако любые новые требования, введенные в начале кризиса, следует пересматривать и переоценивать по мере развития пандемии и появления надежных эпидемиологических данных. Во многих системах увеличение провозной способности за счет увеличения интенсивности движения транспортных средств в часовых или суточных интервалах (как способ уравновесить сокращение вместимости каждого транспортного средства) не является работоспособным вариантом либо потому, что система уже работает на пределе мощности в периоды пиковой нагрузки, либо из-за нехватки ресурсов (отсутствие дополнительных транспортных средств, водителей и операторов). Это может быть особенно сложно в предстоящий период из-за ограниченности бюджетов вследствие сокращения доходов, из-за уменьшения количества доступных водителей по причине самой пандемии или из-за необходимости защищать водителей, находящихся в зоне повышенного риска (например, работники старше 60 лет с хроническими заболеваниями). Вдобавок профсоюзы водителей могут потребовать сокращения рабочего времени и количества смен во время пандемии, чтобы снизить вероятность инфицирования. Возможный абсентеизм сотрудников из-за проблем, связанных с COVID-19, — распространенная проблема операторов общественного транспорта [UITP, 2020].

Реорганизация услуг с целью адаптироваться к преобладающим структурам спроса и ограничениям наполняемости

Услуги общественного транспорта могут перестраивать, чтобы более эффективно и полезно подстроиться под спрос пассажиров с учетом новых, более строгих ограничений наполняемости. Например, могут менять частоту обслуживания, чтобы максимизировать рыночную долю оператора в удовлетворении спроса на перевозки, как в случае Вашингтонского метрополитена [Gkiotsalitis, Cats, 2020]. Эти изменения могут выходить за рамки перераспределения существующих ресурсов и включать в себя изменения в конфигурации; например, путем изменения схем остановок и введения укороченных маршрутов можно лучше скорректировать предложение в соответствии с неравномерной пространственной структурой спроса [Tirachini, Cortés, Jara-Díaz, 2011]. Это требует возможного введения ограничений, связанных с физическим дистанцированием, в разрабатываемые стратегические, тактические и операционные решения, а также учета их последствий.

Неудовлетворение части спроса на поездки может иметь негативные последствия для равенства доступа к мобильности, которые следует оценить и интегрировать в процесс принятия решений. Для удовлетворения спроса, необеспеченного регулярным общественным транспортом, можно прибегать к транспортной услуге «по требованию». Ожидается, что при использовании шеринговыми службами перевозок «по требованию» сформируется только ограниченная сеть контактов [Kucharski, Cats, 2020]. К тому же, помимо перевозки пассажиров,

которые в противном случае были бы лишены транспортного обслуживания, службы «по требованию» предлагают перевозки от двери до двери пользователям, находящимся в группах повышенного риска, например пожилым людям и медицинским работникам. Схемы, по которым компании из сферы совместной мобильности предоставляют эксклюзивные услуги медицинским работникам, уже реализованы в таких странах, как Мексика [Jetty, 2020] и Германия [Carey, 2020].

Эффективное управление при ограниченной наполняемости

Есть несколько способов управлять ограниченными ресурсами. Один из них — позволить, чтобы люди стояли в очереди на посадку, рискуя, возможно, несколько раз получить отказ, прежде чем смогут сесть в транспортное средство. Это не только сильно увеличит время в пути, сделает обслуживание непредсказуемым и приведет к росту неудовлетворенности, но и создаст риски для здоровья населения из-за большого скопления людей в очереди. Альтернативой является ограничение доступа. В зависимости от типа услуги и технологии оплаты проезда можно запустить системы предварительного бронирования перевозки, принуждающие пассажиров путешествовать в определенные временные периоды, или по определенным траекториям, или, что еще лучше, только по конкретным маршрутам. Это поможет в управлении транспортной службой, обеспечит при этом соблюдение требований физического дистанцирования и ограничит количество попутчиков, с которыми пассажиру придется контактировать в течение долгого времени. Разумеется, все это дается ценой ограничения спонтанности передвижений (то есть введения планирования отсрочек). Реализуемость такого решения, вероятно, будет ограничена системами, в которых уже доступны возможности цифрового биллинга и подписки. Доступ может быть основан на установке приоритетов или даже на установке ограничений. Например, может быть введена приоритетная посадка для работников жизненно важных категорий, таких как вспомогательный медицинский персонал и работники тех профессий, которые не могут выполнять свою работу удаленно. Или же оказание услуги будет ограничено, и она станет доступна только работникам жизненно важных отраслей, что несколько смягчит требования социальной справедливости. Могут быть введены ограничения для определенных групп пользователей в определенные периоды времени — например, с 10:00 до 16:00 может быть разрешено пользоваться транспортом только пожилым людям. Такая иерархия приоритетов или ограничения должны устанавливаться местными властями. Альтернативный инструмент управления заполняемостью транспорта — ценообразование. Например, можно предложить большие скидки в непиковые периоды, чтобы стимулировать пассажиров, которые могут изменить время своей поездки, чтобы воспользоваться предложением, — это снизит скопление людей в периоды нехватки мест. Экосистемы «мобильность как услуга» (MaaS) могут сыграть ключевую роль в обеспечении и облегчении беспрепятственного использования различных (новых) режимов, так как предоставят интегрированную платформу для информации и платежей. Кроме того, платформы MaaS могут помочь во внедрении системы бронирования для общественного транспорта и в применении дифференцированных тарифов и приоритетов для разных секторов или групп риска.

Эффективное управление скоплением людей для снижения рисков для здоровья населения

Поскольку сейчас считается, что предпосылкой для заражения является нахождение рядом с носителем вируса COVID-19, управление скоплениями людей имеет первостепенное значение для борьбы с его распространением. Это относится ко всей инфраструктуре общественного транспорта, доступной для пассажиров, включая платформы и переходы к станциям, а также сами транспортные средства, где скопление людей необходимо свести к минимуму на всех этапах поездки: пешее движение до станции/остановки, ожидание, поездка и пересадки. Меры по борьбе со скоплением людей на станциях, такие как входы, переходы и лестницы с односторонним движением, могут помочь изолировать потоки и уменьшить физическое взаимодействие между пассажирами. Точно так же для посадки и высадки из транспортных средств могут использоваться разные двери, хотя эта мера, вероятно, увеличит время простоя на остановках, где ранее была разрешена посадка/высадка из всех дверей [Jara-Díaz, Tirachini, 2013; West, Cats, 2017].

Установка приоритетов в оказании услуг общественного транспорта и меры контроля тоже могут сыграть важную роль в уменьшении скопления пассажиров. В период после локдауна, если не управлять потоками должным образом, могут увеличиться заторы на дорогах из-за миграции людей из общественного транспорта в легковые автомобили. В условиях роста пробок оперативные меры по поддержке общественного транспорта будут как никогда необходимы. Выделенные полосы для автобусов не только сократят расходы операторов и время в пути для пользователей общественного транспорта, но и уменьшат скопление людей в транспортных средствах, на автобусных остановках и станциях. Если парк автобусов останется тем же, сокращение времени в пути будет преобразовано в пропорциональное снижение средней наполняемости в связи с увеличением частоты обслуживания. В то же время, в период пандемии меры по управлению движением для предотвращения скопления людей станут более актуальными, чем когда-либо, поскольку сбои интервалов между рейсами автобусов приводят к необязательной переполненности (за полупустым автобусом едет полный), даже если совокупная провозная способность системы достаточна для удовлетворения спроса на поездки. К стратегиям борьбы со скоплением автобусов относятся задержка выхода на маршрут, пропуск остановок и контроль скорости [Miñoz et al., 2013; Hickman, 2001].

Возможности равномерного распределения спроса на перевозку

Спрос на общественный транспорт обычно является производным спросом, то есть люди используют транспорт ради тех дел, которые им нужно сделать в пункте назначения. Следовательно, снижение уровня загрузки станций и транспортных средств не может быть достигнуто только с помощью мер, ориентированных на управление предложением, но требует также развертывания мер по регулированию спроса. Фактически все эти меры направлены на уменьшение размера и связности сети контактов между людьми, возникающей в результате поездок на общественном транспорте. Наиболее важными мерами являются поощрение работы из дома и воздержания от необязательных поездок. По мере ослабления ограничительных мер после локдауна, неизбежно превышение спроса над предложением в часы пик на фоне сильно сокращенной провозной способности общественного транспорта в связи с требованиями физического дистанцирования. Поэтому очень важно постараться как можно более равномерно распределить во времени и пространстве предоставление населению услуг. Важно координировать стратегии выхода из локдауна разных секторов экономики и общества и попытаться так распланировать ритмы работы, учебы и посещения магазинов, чтобы распределить спрос по более длительному временному промежутку. Это потребует координации между заинтересованными сторонами и будет приносить пользу даже после того, как кризис, связанный с COVID-19, закончится. Несмотря на это, ожидается, что в определенные периоды времени спрос на услуги определенных видов общественного транспорта будет превышать предложение.

Возможная роль средств информирования о наполняемости в уменьшении скопления людей

Информация о наполняемости общественного транспорта становится все более доступной. Некоторые навигационные приложения (например, службы Google Maps Transit, Moovit) предоставляют информацию о наполняемости, интегрируя отзывы пользователей о впечатлениях от загруженности за предыдущие периоды. Более того, приложения, разработанные отдельными поставщиками услуг, такими как Нидерландские железные дороги, Токийские железные дороги и Сингапурские городские автобусы, информируют о загруженности транспортных средств исходя из данных, получаемых в реальном времени (например, с датчиков веса) [Hänseler et al., 2020]. В то же время информирование о скоплении людей на остановках ввиду предстоящих отправлений до сих пор весьма ограничено. Нежелание пассажира ехать в переполненном транспорте, вероятно, намного усилится из-за пандемии, что будет выражаться в более интенсивном оттоке клиентов из-за переполненности транспортных средств, чем ранее регистрировалось в исследованиях [Hörcher, Graham, Anderson, 2017; Tirachini et al., 2017; Yap, Cats, van Arem, 2020]. Следовательно, ожидается, что все больше пассажиров будут искать информацию о скоплении людей и исходя из нее корректировать свои планы на поездку. Это может оказаться эффективным средством распределения спроса по доступному предложению.

Ключевая задача будет состоять в том, чтобы гарантировать, что надежность предоставленной информации не будет снижаться из-за чрезмерного оттока пассажиров в ответ на полученную информацию, что противоречит самой ее цели. Это требует создания схем транспортного информирования с опережением спроса, возможно, с заимствованием разработок из сферы легкового транспорта, где эта проблема много изучалась [Dong, Mahmassani, Lu, 2006].

Поведенческие реакции и адаптация пассажиров

Пассажиры могут по-разному адаптировать свое поведение к условиям пандемии COVID-19, локдауну и выходу из него. Основной мотивацией будет избегание контакта с вирусом. В отсутствие более качественного информирования это часто подразумевает избегание скопления людей. Это может повлиять на все решения о передвижении — смена маршрутов на менее загруженные, изменение времени отправления, чтобы избежать пиков, переключение на частные (и желательно личные) средства передвижения, изменение пункта назначения поездки (например, поездки в менее загруженные магазины) или полный отказ от передвижения (например, совершение покупок в интернете). Все эти решения имеют серьезные последствия для паттернов передвижения и пассажирского поведения. Готовность и способность населения осуществлять такую адаптацию значительно различаются в зависимости от личных предпочтений, а также от дохода и состава семьи, возможностей логистики, гибкости рабочего времени, возможности работы из дома, владения цифровыми технологиями и наличия транспортных средств. Все это означает, что есть значительное неравенство индивидов в способности избегать скопления людей, что подтверждается некоторыми предварительными данными.

Заключительные замечания

Пандемия COVID-19 создает серьезные проблемы для систем общественного транспорта во всем мире. В этой статье мы сделали обзор доступных данных, касающихся влияния ряда факторов на снижение или увеличение риска заражения COVID-19 в общественном транспорте, включая уровни загруженности транспортных средств и станций, время контактирования (продолжительность поездки), обязательное использование защитных масок и применение повышенных гигиенических стандартов (включая санитарную обработку и вентиляцию). Продолжающаяся пандемия вынуждает политиков принимать решения в условиях неопределенности.

Абсолютный риск заражения сильно зависит от распространенности заболевания в сообществе в конкретный временной период, поэтому любые ограничения или корректировки использования общественного транспорта должны быть устроены по-разному в зависимости от фазы пандемии. Нужен подробный анализ этого вопроса, который позволит определить уровни заражения, которые делают пользование общественным транспортом все более опасным с точки зрения общественного здоровья. Тем не менее появляются некоторые многообещающие доказательства того, как можно сделать общественный транспорт безопасным или, по крайней мере, значительно снизить риск заражения, особенно в фазу после снятия локдауна. Еще слишком рано делать окончательные выводы, необходимы дополнительные исследования на разных этапах пандемии, чтобы оценить реальный уровень безопасности в общественном транспорте при надлежащих мерах по сдерживанию распространения вируса. Это вопрос первостепенной важности, потому что, если широкими слоями населения общественный транспорт будет восприниматься как небезопасный и вредный для здоровья, он не сможет выполнять те общественные функции, которые призван выполнять, включая доступность, равное право на пользование и надежность. Некоторые вещи, такие как поиск вакцины или снятие условий локдауна, находятся вне сферы контроля сектора общественного транспорта, но многие из упомянутых выше мер входят в основную зону ответственности поставщиков услуг общественного транспорта. Они помогут убедить общественность, что принимаются адекватные меры. В этот период особенно важны открытость, эффективная работа служб по связям с общественностью и соблюдение мер безопасности.

Есть риск того, что, если в общественном восприятии сектор общественного транспорта будет плохо исполнять требования по соблюдению мер двухметрового физического дистанци-

рования, то представление об общественном транспорте как нездоровом закрепится и может сохраниться даже после пандемии, что приведет к формированию новых привычек. Однако нашим обществам необходимы услуги общественного транспорта для процветания и решения ключевых насущных социальных задач. Поэтому крайне важно не способствовать укреплению стереотипа об опасности пользования общественным транспортом для здоровья, — стереотипа, который может пережить пандемию и поставить под вопрос долгосрочные перспективы общественного транспорта.

Благодарности

Авторы благодарят за поддержку ANID Чили (грант PIA/BASAL AFB180003) и выражают признательность Кристобалу Куадрадо (Школа общественного здравоохранения, Университет Чили) и трем анонимным рецензентам за комментарии, которые помогли улучшить статью. Ответственность за все высказанные точки зрения и любые допущенные ошибки лежит только на авторах.

Источники

- Adams-Prassl A., Boneva T., Golin M., Rauh C. (2020) Inequality in the Impact of the Coronavirus Shock: Evidence from Real Time Surveys//IZA Discussion Paper Series. No. 13183. IZA – Institute of Labor Economics.
- Astroza S., Tirachini A., Hurtubia R., Carrasco J.A., Guevara A., Munizaga M., Figueroa M., Torres V. (2020) Mobility Changes, Teleworking, Remote Communication during the COVID-19 Pandemic in Chile//Transport Findings. July. Режим доступа: <https://findingspress.org/article/13489-mobility-changes-teleworking-and-remote-communication-during-the-covid-19-pandemic-in-chile> (дата обращения: 30.02.2021).
- Barabási A.-L. (2014) Network Science Spreading Phenomena. Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/5790/86aced0f47981d2c3c85117808fd64c70cc9.pdf> (дата обращения: 30.02.2021).
- Bešinović N. (2020) Resilience in Railway Transport Systems: A Literature Review Research Agenda//Transport Reviews. No. 40 (4). P. 457–78.
- Buonanno G., Stabile L., Morawska L. (2020) Estimation of Airborne Viral Emission: Quanta Emission Rate of SARS-CoV-2 for Infection Risk Assessment//Environment International. No. 141. P. 105794.
- CDC (2020a) Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): How to Protect Yourself & Others//Centers for Disease Control Prevention (CDC). Режим доступа: https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/prevention.html?CDC_AA_refVal=https%3A%2F%2Fwww.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/prevention.html (дата обращения: 30.02.2021).
- CDC (2020b) Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): COVID-19 Employer Information for Office Buildings//Centers for Disease Control Prevention (CDC). Режим доступа: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/office-buildings.html> (дата обращения: 30.02.2021).
- CDC (2020c) Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Protect Yourself When Using Transportation//Centers for Disease Control Prevention (CDC). Режим доступа: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/daily-life-coping/using-transportation.html> (дата обращения: 30.02.2021).
- Chorus C. (2020) Moral Decisions the Corona Crisis – Insights from the BEHAVE-Research Program//BEHAVE. March 28, 2020. Режим доступа: <http://behave.tbm.tudelft.nl/index.php/2020/03/28/moral-decisions-and-the-corona-crisis-insights-from-the-behave-research-program/> (дата обращения: 30.02.2021).
- Chu D.K., Akl E.A., Duda S., Solo K., Yaacoub S., Schünemann H.J. et al. (2020) Physical Distancing, Face Masks, Eye Protection to Prevent Person-to-Person Transmission of SARS-CoV-2 COVID-19: A Systematic Review Meta-Analysis//The Lancet. Vol. 395 (10242). P. 1973–1987.
- Carey C. (2020) ViaVan Offers Free Rides to Berlin Healthcare Workers//Cities Today. March 25, 2020. Режим доступа: <https://cities-today.com/viavan-offers-free-rides-for-berlin-healthcare-staff/> (дата обращения: 30.02.2021).
- Colizza V., Barthélemy M., Barrat A., Vespignani A. (2007) Epidemic Modeling in Complex Realities//Comptes Rendus Biologies. No. 330 (4). P. 364–374.
- DF (2020) MTT Agrees Payment Mechanism with Former Transantiago Operators Due to Drastic Drop in Revenue//Diario Financiero. Режим доступа: May 22, 2020. Режим доступа: <https://www.df.cl/noticias/empresas/industria/mtt-acuerda-mecanismo-de-pago-con-operadores-del-ex-transantiago-ante/2020-05-19/195247.html> (дата обращения: 30.02.2021).
- DfT (2020) Coronavirus (COVID-19): Safer Travel Guidance for Passengers//Department for Transport, United Kingdom. Режим доступа: <https://www.gov.uk/guidance/coronavirus-covid-19-safer-travel-guidance-for-passengers> (дата обращения: 30.02.2021).

- Dong J., Mahmassani H.S., Lu C.-C. (2006) How Reliable is This Route?: Predictive Travel Time Reliability for Anticipatory Traveler Information Systems//Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. No. 1980 (1). P. 117–125.
- Eikenberry S.E., Mancuso M., Iboi E., Phan T., Eikenberry K., Kuang Y. et al. (2020) To Mask or not to Mask: Modeling the Potential for Face Mask Use by the General Public to Curtail the COVID-19 Pandemic//Infectious Disease Modelling. No. 5. P. 293–308.
- Fa-Chun J., Xiao-Lin J., Zhao-Guo W., Zhao-Hai M., Shou-Feng S. et al. (2020) Detection of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 RNA on Surfaces in Quarantine Rooms//Emerging Infectious Diseases. No. 26 (9). P. 2162–2164.
- Ferretti L., Wymant C., Kendall M., Zhao L., Nurtay A., Abeler-Dörner L. et al. (2020) Quantifying SARS-CoV-2 Transmission Suggests Epidemic Control with Digital Contact Tracing//Science. No. 368 (6491).
- GIZ (2020) Standard Operating Procedures (SOPs) for Bus Transport Post COVID-19 Lockdown. Режим доступа: <https://www.sutp.org/publications/standard-operating-procedures-sops-for-bus-transport-post-covid19-lockdown/> (дата обращения: 30.02.2021).
- Gkiotsalitis K., Cats O. (2020) Optimal Frequency Setting of Metro Services in the Age of COVID-19 Distancing Measures. Preprint. May 26, 2020.
- Goldbaum C. (2020) M.T.A., Citing Huge Drop in Riders, Seeks \$4 Billion Virus Bailout//New York Times. March 17, 2020. Режим доступа: <https://www.nytimes.com/2020/03/17/nyregion/coronavirus-nyc-subway-federal-aid.html> (дата обращения: 30.02.2021).
- Google (2020) COVID-19 Community Mobility Reports. Режим доступа: <https://www.google.com/covid19/mobility/index.html?hl=en> (дата обращения: 30.02.2021).
- Greenhalgh T., Schmid M.B., Czypionka T., Bassler D., Gruer L. (2020) Face Masks for the Public During the Covid-19 Crisis//BMJ. No. 369. P. 1435.
- Gwilliam K. (1999) Public Transport in the Developing World – Quo Vadis?//International Conference Series on Competition Ownership in Land Passenger Transport - 1999. Cape Town, South Africa – Thredbo 6.
- Han Q., Lin Q., Ni Z., You L. (2020) Uncertainties about the Transmission Routes of 2019 Novel Coronavirus. Letter to the Editor, March 4, 2020//Influenza other respiratory viruses. No. 14 (4). P. 470–471.
- Hänseler F.S., van den Heuvel J.P.A., Cats O., Daamen W., Hoogendoorn S.P. (2020) A Passenger- Pedestrian Model to Assess Platform Train Usage from Automated Data//Transportation Research Part A: Policy Practice. No. 132. P. 948–968.
- Hickman M.D. (2001) An Analytic Stochastic Model for the Transit Vehicle Holding Problem//Transportation Science. No. 35 (3). P. 215–237.
- Homeland Security (2010) Transportation Systems Sector-Specific Plan: An Annex to the National Infrastructure Protection Plan. U.S. Department of Homeland Security.
- Hörcher D., Graham D.J., Anderson R.J. (2017) Crowding Cost Estimation with Large Scale Smart Card Vehicle Location Data//Transportation Research Part B: Methodological. No. 95. P. 105–125.
- How M., Thiagarajan S. (2020) Why You Can Board a Crowded MRT Train but Cannot Meet Your Friends: Lawrence Wong Explains//Mothership. June 8, 2020. Режим доступа: <https://mothership.sg/2020/06/why-still-cannot-see-friends-covid/> (дата обращения: 30.02.2021).
- Jara-Díaz S.R., Tirachini A. (2013) Urban Bus Transport: Open All Doors for Boarding//Journal of Transport Economics Policy. No. 47 (1). P. 91–106.
- Javid B., Weekes M.P., Matheson N.J. (2020) Covid-19: Should the Public Wear Face Masks?//BMJ. No. 369. P. 1442.
- Jenelius E., Cats O. (2015) The Value of New Public Transport Links for Network Robustness Redundancy//Transportmetrica A: Transport Science. No. 11 (9). P. 819–835.
- Jetty (2020) Jetty Supports the Transportation of Hospital Personnel in Toluca. Режим доступа: <https://www.jetty.mx/update/2020/05/25/jetty-ayoyo-personal-medico-toluca.html> (дата обращения: 30.02.2021).
- Jianyun L., Jieni G., Kuibiao L., Conghui X., Wenzhe S., Zhisheng L. et al. (2020) COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020//Emerging Infectious Diseases. No. 26 (7). P. 1628–1631.
- Konda A., Prakash A., Moss G.A., Schmoldt M., Grant G.D., Guha S. (2020) Aerosol Filtration Efficiency of Common Fabrics Used in Respiratory Cloth Masks//ACS Nano. No. 14 (5). P. 6339–6347.
- Krishnakumari P., Cats O. (2020) Virus Spreading in Public Transport Networks//Working Paper. Transport Institute TU Delft, April 30, 2020.
- Kucharski R., Cats O. (2020) On Virus Spreading Processes in Ride-Sharing Networks. Preprint. SmartPTLab, Department of Transport & Planning, TU Delft.
- Leung N.H.L., Chu D.K.W., Shiu E.Y.C., Chan K.-H., McDevitt J.J., Hau B.J.P. et al. (2020) Respiratory Virus Shedding in Exhaled Breath Efficacy of Face Masks//Nature Medicine. No. 26. P. 676–680.

- McDaniels T., Chang S., Cole D., Mikawoz J., Longstaff H. (2008) *Fostering Resilience to Extreme Events within Infrastructure Systems: Characterizing Decision Contexts for Mitigation Adaptation*//*Global Environmental Change*. No. 18 (2). P. 310–318.
- Molloy J., Schatzmann T., Schoeman B., Tchervenkov C., Hintermann B., Axhausen K.W. (2020) *Observed Impacts of COVID-19 on Travel Behaviour in Switzerland Based on a Large GPS Panel*//*Working paper*. IVT, ETH Zurich.
- Morawska L., Cao J. (2020) *Airborne Transmission of SARS-CoV-2: The World Should Face the Reality*//*Environment International*. No. 139. P. 105730.
- MOVID-19 (2020) *What Has Been the Response of the Population to the Quarantines? The Impact of Inequalities on the Effectiveness of Health Policies*//*National Monitoring of COVID-19 Symptoms Practices in Chile (MOV-19)*. June 9, 2020. Режим доступа: <https://www.movid19.cl/informes/mesasocial3.html> (дата обращения: 30.02.2021).
- Muñoz J.C., Cortés C.E., Giesen R., Sáez D., Delgado F., Valencia F., Cipriano A. (2013) *Comparison of Dynamic Control Strategies for Transit Operations*//*Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. No. 28. P. 101–113.
- Musselwhite C., Avineri E., Susilo Y. (2020) *Editorial JTH 16–The Coronavirus Disease COVID-19 Implications for Transport Health*//*Journal of Transport & Health*. No. 16. P. 100853.
- Ngonghala C.N., Iboi E., Eikenberry S., Scotch M., MacIntyre C.R., Bonds M.H., Gumel A.B. (2020) *Mathematical Assessment of the Impact of Non-Pharmaceutical Interventions on Curtailing the 2019 Novel Coronavirus*//*Mathematical Biosciences*. No. 325. P. 108364.
- Nishiura H., Oshitani H., Kobayashi T., Saito T., Sunagawa T., Matsui T., Wakita T., Suzuki M. (2020) *Closed Environments Facilitate Secondary Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)*//*medRxiv*. Preprint, April 16, 2020.
- Normile D. (2020) *Japan Ends Its COVID-19 State of Emergency*//*Science*. May 26, 2020. Режим доступа: <https://www.sciencemag.org/news/2020/05/japan-ends-its-covid-19-state-emergency> (дата обращения: 30.02.2021).
- NOS (2020) *1.5 Billion Euros in Corona Compensation for Public Transport Companies*. Режим доступа: <https://nos.nl/artikel/2336334-1-5-miljard-euro-coronacompensatie-voor-ov-bedrijven.html> (дата обращения: 30.02.2021).
- Prather K.A., Wang C.C., Schooley R.T. (2020) *Reducing Transmission of SARS-CoV-2*//*Science*. No. 368 (6498). P. 1422–1424.
- Qian H., Miao T., Liu L., Zheng X., Luo D., Li Y. (2020) *Indoor Transmission of SARS-CoV-2*//*medRxiv*. April 7, 2020.
- Rijksoverheid (2020) *Frequently Asked Questions about the Corona Virus Public Transport*. Режим доступа: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/coronavirus-covid-19/verkeer-openbaar-vervoer-grensstreek/openbaar-vervoer> (дата обращения: 30.02.2021).
- SAGE (2020) *EMG: Transmission Control of SARS-CoV-2 on Public Transport*//*Meeting paper*. May 18, 2020. Environmental Modelling Group (EMG) for Scientific Advisory Group for Emergencies (SAGE), United Kingdom.
- SECTRA (2013) *Measurements of Traffic Capacity Load Profiles in Trunk Services in Santiago*//*Annual Report 2013 prepared by DICTUC*.
- Setti L., Passarini F., De Gennaro G., Barbieri P., Perrone M., Borelli M. et al. (2020) *Airborne Transmission Route of COVID-19: Why 2 Meters/6 Feet of Inter-Personal Distance Could Not Be Enough*//*International Journal of Environmental Research Public Health*. No. 17 (8). P. 2932.
- Shen Y., Li C., Dong H., Wang Z., Martinez L., Sun Z., Handel A. et al. (2020) *Airborne Transmission of COVID-19: Epidemiologic Evidence from Two Outbreak Investigations*. Preprint. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/340418430_Airborne_transmission_of_COVID-19_epidemiologic_evidence_from_two_outbreak_investigations (дата обращения: 30.02.2021).
- Sverigesradio (2020) *The Government Provides Money So That Public Transport Can Run as Usual*. May 11, 2020. Режим доступа: <https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=4916&artikel=7470922> (дата обращения: 30.02.2021).
- Tanguay G.A., Lachapelle U. (2020) *Remote Work Worsens Inequality by Mostly Helping High-Income Earners*//*The Conversation*. May 10, 2020. Режим доступа: <https://theconversation.com/remote-work-worsens-inequality-by-mostly-helping-high-income-earners-136160> (дата обращения: 30.02.2021).
- Terrill M. (2020) *Shame about the Cars, but Premier is Right to Be Cautious about Public Transport*//*Sydney Morning Herald*, May 19, 2020. Режим доступа: <https://www.smh.com.au/politics/nsw/shame-about-the-cars-but-premier-is-right-to-be-cautious-about-public-transport-20200518-p54txr.html> (дата обращения: 30.02.2021).
- The Economist (2020) *Covid-19 Threatens Europe's Success at Fighting Inequality*. Режим доступа: <https://www.economist.com/europe/2020/06/06/covid-19-threatens-europes-success-at-fighting-inequality> (дата обращения: 30.02.2021).
- Tirachini A. (2019) *South America: The Challenge of Transition*//*A Research Agenda for Transport Policy*/J. Stanley, D. Hensher (eds.). Cheltenham: Edward Elgar Publishing. P. 118–125.

- Tirachini A., Cortés C.E., Jara-Díaz S.R. (2011) Optimal Design Benefits of a Short Turning Strategy for a Bus Corridor//Transportation. No. 38. P.169–189.
- Tirachini A., Guevara A., Munizaga M., Carrasco J.A., Astroza S., Hurtubia R. (2020) Survey on the Effects of the COVID-19 Pandemic on Mobility, Activities Concerns of People//Report, Complex Engineering Systems Institute (ISCI), Chile. Режим доступа: https://isci.cl/wp-content/uploads/2020/04/Encuesta-Movilidad-ISCI-Abril-2020_v02.pdf (дата обращения: 30.02.2021).
- Tirachini A., Hurtubia R., Dekker T., Daziano R.A. (2017) Estimation of Crowding Discomfort in Public Transport: Results from Santiago de Chile//Transportation Research Part A: Policy Practice. No. 103. P. 311–326.
- UITP (2020) Management of COVID-19: Guidelines for Public Transport Operators//Factsheet, March 2020. International Association of Public Transport (UITP). Режим доступа: <https://www.uitp.org/management-covid-19-guidelines-public-transport-operators> (дата обращения: 30.02.2021).
- Valentino-DeVries J., Lu D., Dance G.J.X. (2020) Location Data Says It All: Staying at Home During Coronavirus Is a Luxury//New York Times. April 3, 2020. Режим доступа: <https://www.nytimes.com/interactive/2020/04/03/us/coronavirus-stay-home-rich-poor.html> (дата обращения: 30.02.2021).
- van Doremalen N., Bushmaker T., Morris D.H., Holbrook M.G., Gamble A., Williamson B.N. et al. (2020) Aerosol Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1//New England Journal of Medicine. No. 382 (16). P. 1564–1567.
- West J., Cats O. (2017) Individual Synergetic Effects of Transit Service Improvement Strategies: Simulation Validation//Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems. No. 143 (12).
- WHO (2020a) Advice on the Use of Masks in the Context of COVID-19: Interim Guidance, 5 June 2020//World Health Organization. Режим доступа: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332293> (дата обращения: 30.02.2021).
- WHO (2020b) Coronavirus Disease (COVID-19) Advice for the Public//World Health Organization. Режим доступа: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public> (дата обращения: 30.02.2021).
- Wong Y. (2020) To Limit Coronavirus Risks on Public Transport, Here's What We Can Learn from Efforts Overseas//The Conversation. March 16, 2020. Режим доступа: <https://theconversation.com/to-limit-coronavirus-risks-on-public-transport-heres-what-we-can-learn-from-efforts-overseas-133764> (дата обращения: 30.02.2021).
- Yap M., Cats O., van Arem B. (2020) Crowding Valuation in Urban Tram Bus Transportation Based on Smart Card Data//Transportmetrica A: Transport Science. No. 16 (1). P. 23–42.

ALEJANDRO TIRACHINI, ODED CATS

COVID-19 PUBLIC TRANSPORTATION: CURRENT ASSESSMENT, PROSPECTS, RESEARCH NEEDS

Alejandro Tirachini, Associate Professor in the Department of Civil Engineering, University of Chile; 850 Beauchef, Santiago, Chile.

E-mail: alejandro.tirachini@ing.uchile.cl

Oded Cats, Associate Professor in the Department of Transport and Planning, Co-director of epy Smart Public Transport Lab, Delft University of Technology; 23 bldg. 1 Stevinweg, Delft, 2628 CN, Netherlands.

E-mail: o.cats@tudelft.nl

Abstract

The COVID-19 pandemic poses a great challenge for contemporary public transportation worldwide, resulting from an unprecedented decline in demand and revenue. In this paper, we synthesize the state-of-the-art, up to early June 2020, on key developments regarding public transportation and the COVID-19 pandemic, including the different responses adopted by governments and public transportation agencies around the world, and the research needs pertaining to critical issues that minimize contagion risk in public transportation in the so-called post-lockdown phase. While attempts at adherence to physical distancing (which challenges the very concept of mass public transportation) are looming in several countries, the latest research shows that for closed environments such as public transportation vehicles, the proper use of face masks has significantly reduced the probability of contagion. The economic and social effects of the COVID-19 outbreak in public transportation extend beyond service performance and health risks to financial viability, social equity, and sustainable mobility. There is a risk that if the public transportation sector is perceived as poorly transitioning to post-pandemic conditions, that viewing public transportation as unhealthy will gain ground and might be sustained. To this end, this paper identifies the research needs and outlines a research agenda for the public health implications of alternative strategies and scenarios, specifically measures to reduce crowding in public transportation. The paper provides an overview and an outlook for transit policy makers, planners, and researchers to map the state-of affairs and research needs related to the impacts of the pandemic crisis on public transportation. Some research needs require urgent attention given what is ultimately at stake in several countries: restoring the ability of public transportation systems to fulfill their societal role.

Key words: COVID-19; public transport; sustainability; safety; resilience; public health

Citation: Tirachini A., Cats O. (2019) COVID-19 and Public Transportation: Current Assessment, Prospects, and Research Needs. *Urban Studies and Practices*, vol. 4, no 4, pp. 7–29. (in Russian) DOI: <https://doi.org/10.17323/usp4420197-29>

References

- Adams-Prassl A., Boneva T., Golin M., Rauh C. (2020) Inequality in the Impact of the Coronavirus Shock: Evidence from Real Time Surveys. *IZA Discussion Paper Series*. no 13183. IZA – Institute of Labor Economics.
- Astroza S., Tirachini A., Hurtubia R., Carrasco J.A., Guevara A., Munizaga M., Figueroa M., Torres V. (2020) Mobility Changes, Teleworking, Remote Communication during the COVID-19 Pandemic in Chile. *Transport Findings*. Available at: <https://findingspress.org/article/13489-mobility-changes-teleworking-and-remote-communication-during-the-covid-19-pandemic-in-chile> (accessed 30 February 2021).
- Barabási A.-L. (2014) Network Science Spreading Phenomena. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/5790/86aced0f47981d2c3c85117808fd64c70cc9.pdf> (accessed 30 February 2021).
- Bešinović N. (2020) Resilience in Railway Transport Systems: A Literature Review Research Agenda. *Transport Reviews*, no 40 (4), pp. 457–78.
- Buonanno G., Stabile L., Morawska L. (2020) Estimation of Airborne Viral Emission: Quanta Emission Rate of SARS-Cov-2 for Infection Risk Assessment. *Environment International*, no 141, p. 105794.
- CDC (2020a) Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): How to Protect Yourself & Others. Centers for Disease Control Prevention (CDC). Available at: https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/prevention.html?CDC_AA_refVal=https%3A%3A (accessed 30 February 2021).

- CDC (2020b) Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): COVID-19 Employer Information for Office Buildings. Centers for Disease Control Prevention (CDC). Available at: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/office-buildings.html> (accessed 30 February 2021).
- CDC (2020c) Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Protect Yourself When Using Transportation. Centers for Disease Control Prevention (CDC). Available at: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/daily-life-coping/using-transportation.html> (accessed 30 February 2021).
- Chorus C. (2020) Moral Decisions the Corona Crisis – Insights from the BEHAVE-Research Program. *BEHAVE*. March 28, 2020. Available at: <http://behave.tbm.tudelft.nl/index.php/2020/03/28/moral-decisions-and-the-corona-crisis-insights-from-the-behave-research-program/> (accessed 30 February 2021).
- Chu D.K., Akl E.A., Duda S., Solo K., Yaacoub S., Schünemann H.J. et al. (2020) Physical Distancing, Face Masks, Eye Protection to Prevent Person-to-Person Transmission of SARS-CoV-2 COVID-19: A Systematic Review Meta-Analysis. *The Lancet*, vol. 395 (10242), pp. 1973–1987.
- Carey C. (2020) ViaVan Offers Free Rides to Berlin Healthcare Workers. *Cities Today*. March 25, 2020. Available at: <https://cities-today.com/viavan-offers-free-rides-for-berlin-healthcare-staff/> (accessed 30 February 2021).
- Colizza V., Barthélemy M., Barrat A., Vespignani A. (2007) Epidemic Modeling in Complex Realities. *Comptes Rendus Biologies*, no 330 (4), pp. 364–374.
- DF (2020) MTT Agrees Payment Mechanism with Former Transantiago Operators Due to Drastic Drop in Revenue. *Diario Financiero*. Available at: May 22, 2020. Available at: <https://www.df.cl/noticias/empresas/industria/mtt-acuerda-mecanismo-de-pago-con-operadores-del-ex-transantiago-ante/2020-05-19/195247.html> (accessed 30 February 2021).
- DFT (2020) Coronavirus (COVID-19): Safer Travel Guidance for Passengers. *Department for Transport, United Kingdom*. Available at: <https://www.gov.uk/guidance/coronavirus-covid-19-safer-travel-guidance-for-passengers> (accessed 30 February 2021).
- Dong J., Mahmassani H.S., Lu C.-C. (2006) How Reliable is This Route?: Predictive Travel Time Reliability for Anticipatory Traveler Information Systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no 1980 (1), pp. 117–125.
- Eikenberry S.E., Mancuso M., Iboi E., Phan T., Eikenberry K., Kuang Y. et al. (2020) To Mask or not to Mask: Modeling the Potential for Face Mask Use by the General Public to Curtail the COVID-19 Pandemic. *Infectious Disease Modelling*, no 5, pp. 293–308.
- Fa-Chun J., Xiao-Lin J., Zhao-Guo W., Zhao-Hai M., Shou-Feng S. et al. (2020) Detection of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 RNA on Surfaces in Quarantine Rooms. *Emerging Infectious Diseases*, no 26 (9), pp. 2162–2164.
- Ferretti L., Wymant C., Kendall M., Zhao L., Nurtay A., Abeler-Dörner L. et al. (2020) Quantifying SARS-CoV-2 Transmission Suggests Epidemic Control with Digital Contact Tracing. *Science*, no 368 (6491).
- GIZ (2020) Standard Operating Procedures (SOPs) for Bus Transport Post COVID-19 Lockdown. Available at: <https://www.sutp.org/publications/standard-operating-procedures-sops-for-bus-transport-post-covid19-lockdown/> (accessed 30 February 2021).
- Gkiotsalitis K., Cats O. (2020) Optimal Frequency Setting of Metro Services in the Age of COVID-19 Distancing Measures. Preprint. May 26, 2020.
- Goldbaum C. (2020) M.T.A., Citing Huge Drop in Riders, Seeks \$4 Billion Virus Bailout. *New York Times*. March 17, 2020. Available at: <https://www.nytimes.com/2020/03/17/nyregion/coronavirus-nyc-subway-federal-aid.html> (accessed 30 February 2021).
- Google (2020) COVID-19 Community Mobility Reports. Available at: <https://www.google.com/covid19/mobility/index.html?hl=en> (accessed 30 February 2021).
- Greenhalgh T., Schmid M.B., Czypionka T., Bassler D., Gruer L. (2020) Face Masks for the Public During the Covid-19 Crisis. *BMJ*, no 369, p. 1435.
- Gwilliam K. (1999) Public Transport in the Developing World – Quo Vadis? *International Conference Series on Competition Ownership in Land Passenger Transport – 1999*. Cape Town, South Africa – Thredbo 6.
- Han Q., Lin Q., Ni Z., You L. (2020) Uncertainties about the Transmission Routes of 2019 Novel Coronavirus. Letter to the Editor, March 4, 2020. *Influenza other respiratory viruses*, no 14 (4), pp. 470–471.
- Hänseler F.S., van den Heuvel J.P.A., Cats O., Daamen W., Hoogendoorn S.P. (2020) A Passenger- Pedestrian Model to Assess Platform Train Usage from Automated Data. *Transportation Research Part A: Policy Practice*, no 132, pp. 948–68.
- Hickman M.D. (2001) An Analytic Stochastic Model for the Transit Vehicle Holding Problem. *Transportation Science*, no 35 (3), pp. 215–237.
- Homeland Security (2010) Transportation Systems Sector-Specific Plan: An Annex to the National Infrastructure Protection Plan. U.S. Department of Homeland Security.

- Hörcher D., Graham D.J., Anderson R.J. (2017) Crowding Cost Estimation with Large Scale Smart Card Vehicle Location Data. *Transportation Research Part B: Methodological*, no 95, pp. 105–125.
- How M., Thiagarajan S. (2020) Why You Can Board a Crowded MRT Train but Cannot Meet Your Friends: Lawrence Wong Explains. *Mothership*. June 8, 2020. Available at: <https://mothership.sg/2020/06/why-still-cannot-see-friends-covid/> (accessed 30 February 2021).
- Jara-Díaz S.R., Tirachini A. (2013) Urban Bus Transport: Open All Doors for Boarding. *Journal of Transport Economics Policy*, no 47 (1), pp. 91–106.
- Javid B., Weekes M.P., Matheson N.J. (2020) Covid-19: Should the Public Wear Face Masks?. *BMJ*, no 369, p. 1442.
- Jenelius E., Cats O. (2015) The Value of New Public Transport Links for Network Robustness Redundancy. *Transportmetrica A: Transport Science*, no 11 (9), pp. 819–835.
- Jetty (2020) Jetty Supports the Transportation of Hospital Personnel in Toluca. Available at: <https://www.jetty.mx/update/2020/05/25/jetty-apoyo-personal-medico-toluca.html> (accessed 30 February 2021).
- Jianyun L., Jieni G., Kuibiao L., Conghui X., Wenzhe S., Zhisheng L. et al. (2020) COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020. *Emerging Infectious Diseases*, no 26 (7), pp. 1628–1631.
- Konda A., Prakash A., Moss G.A., Schmoldt M., Grant G.D., Guha S. (2020) Aerosol Filtration Efficiency of Common Fabrics Used in Respiratory Cloth Masks. *ACS Nano*, no 14 (5), pp. 6339–6347.
- Krishnakumari P., Cats O. (2020) Virus Spreading in Public Transport Networks. Working Paper. Transport Institute TU Delft, April 30, 2020.
- Kucharski R., Cats O. (2020) On Virus Spreading Processes in Ride-Sharing Networks. Preprint. SmartPTLab, Department of Transport & Planning, TU Delft.
- Leung N.H.L., Chu D.K.W., Shiu E.Y.C., Chan K.-H., McDevitt J.J., Hau B.J.P. et al. (2020) Respiratory Virus Shedding in Exhaled Breath Efficacy of Face Masks. *Nature Medicine*, no 26, pp. 676–80.
- McDaniels T., Chang S., Cole D., Mikawoz J., Longstaff H. (2008) Fostering Resilience to Extreme Events within Infrastructure Systems: Characterizing Decision Contexts for Mitigation Adaptation. *Global Environmental Change*, no 18 (2), pp. 310–318.
- Molloy J., Schatzmann T., Schoeman B., Tchervenkov C., Hintermann B., Axhausen K.W. (2020) Observed Impacts of COVID-19 on Travel Behaviour in Switzerland Based on a Large GPS Panel. Working paper. IVT, ETH Zurich.
- Morawska L., Cao J. (2020) Airborne Transmission of SARS-CoV-2: The World Should Face the Reality. *Environment International*, no 139, p. 105730.
- MOVID-19 (2020) What Has Been the Response of the Population to the Quarantines? The Impact of Inequalities on the Effectiveness of Health Policies. *National Monitoring of COVID-19 Symptoms Practices in Chile (MOVID-19)*. June 9, 2020. Available at: <https://www.movid19.cl/informes/mesasocial3.html> (accessed 30 February 2021).
- Muñoz J.C., Cortés C.E., Giesen R., Sáez D., Delgado F., Valencia F., Cipriano A. (2013) Comparison of Dynamic Control Strategies for Transit Operations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, no 28, pp. 101–113.
- Musselwhite C., Avineri E., Susilo Y. (2020) Editorial JTH 16–The Coronavirus Disease COVID-19 Implications for Transport Health. *Journal of Transport & Health*, no 16, p. 100853.
- Ngonghala C.N., Iboi E., Eikenberry S., Scotch M., MacIntyre C.R., Bonds M.H., Gumel A.B. (2020) Mathematical Assessment of the Impact of Non-Pharmaceutical Interventions on Curtailing the 2019 Novel Coronavirus. *Mathematical Biosciences*, no 325, p. 108364.
- Nishiura H., Oshitani H., Kobayashi T., Saito T., Sunagawa T., Matsui T., Wakita T., Suzuki M. (2020) Closed Environments Facilitate Secondary Transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *medRxiv*. Preprint, April 16, 2020.
- Normile D. (2020) Japan Ends Its COVID-19 State of Emergency. *Science*. May 26, 2020. Available at: <https://www.sciencemag.org/news/2020/05/japan-ends-its-covid-19-state-emergency> (accessed 30 February 2021).
- NOS (2020) 1.5 Billion Euros in Corona Compensation for Public Transport Companies. Available at: <https://nos.nl/artikel/2336334-1-5-miljard-euro-coronacompensatie-voor-ov-bedrijven.html> (accessed 30 February 2021).
- Prather K.A., Wang C.C., Schooley R.T. (2020) Reducing Transmission of SARS-CoV-2. *Science*, no 368 (6498), pp. 1422–1424.
- Qian H., Miao T., Liu L., Zheng X., Luo D., Li Y. (2020) Indoor Transmission of SARS-CoV-2. *medRxiv*. April 7, 2020.
- Rijksoverheid (2020) Frequently Asked Questions about the Corona Virus Public Transport. Available at: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/coronavirus-covid-19/verkeer-openbaar-vervoer-grensstreek/openbaar-vervoer> (accessed 30 February 2021).
- SAGE (2020) EMG: Transmission Control of SARS-CoV-2 on Public Transport. Meeting paper. May 18, 2020. Environmental Modelling Group (EMG) for Scientific Advisory Group for Emergencies (SAGE), United Kingdom.
- SECTRA (2013) Measurements of Traffic Capacity Load Profiles in Trunk Services in Santiago. *Annual Report 2013 prepared by DICTUC*.

- Setti L., Passarini F., De Gennaro G., Barbieri P., Perrone M., Borelli M. et al. (2020) Airborne Transmission Route of COVID-19: Why 2 Meters/6 Feet of Inter-Personal Distance Could not Be Enough. *International Journal of Environmental Research Public Health*, no 17 (8), p. 2932.
- Shen Y., Li C., Dong H., Wang Z., Martinez L., Sun Z., Handel A. et al. (2020) Airborne Transmission of COVID-19: Epidemiologic Evidence from Two Outbreak Investigations. Preprint. Available at: https://www.researchgate.net/publication/340418430_Airborne_transmission_of_COVID-19_epidemiologic_evidence_from_two_outbreak_investigations (accessed 30 February 2021).
- Sverigesradio (2020) The Government Provides Money So That Public Transport Can Run as Usual. May 11, 2020. Available at: <https://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=4916&artikel=7470922> (accessed 30 February 2021).
- Tanguay G.A., Lachapelle U. (2020) Remote Work Worsens Inequality by Mostly Helping High-Income Earners. *The Conversation*. May 10, 2020. Available at: <https://theconversation.com/remote-work-worsens-inequality-by-mostly-helping-high-income-earners-136160> (accessed 30 February 2021).
- Terrill M. (2020) Shame about the Cars, but Premier is Right to Be Cautious about Public Transport. *Sydney Morning Herald*, May 19, 2020. Available at: <https://www.smh.com.au/politics/nsw/shame-about-the-cars-but-premier-is-right-to-be-cautious-about-public-transport-20200518-p54txr.html> (accessed 30 February 2021).
- The Economist (2020) Covid-19 Threatens Europe's Success at Fighting Inequality. Available at: <https://www.economist.com/europe/2020/06/06/covid-19-threatens-europes-success-at-fighting-inequality> (accessed 30 February 2021).
- Tirachini A. (2019) South America: The Challenge of Transition. Stanley J., Hensher D (eds.) *A Research Agenda for Transport Policy*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, pp. 118–125.
- Tirachini A., Cortés C.E., Jara-Díaz S.R. (2011) Optimal Design Benefits of a Short Turning Strategy for a Bus Corridor. *Transportation*, no 38, pp. 169–189.
- Tirachini A., Guevara A., Munizaga M., Carrasco J.A., Astroza S., Hurtubia R. (2020) Survey on the Effects of the COVID-19 Pandemic on Mobility, Activities Concerns of People. *Report, Complex Engineering Systems Institute (ISCI), Chile*. Available at: https://isci.cl/wp-content/uploads/2020/04/Encuesta-Movilidad-ISCI-Abril-2020_v02.pdf (accessed 30 February 2021).
- Tirachini A., Hurtubia R., Dekker T., Daziano R.A. (2017) Estimation of Crowding Discomfort in Public Transport: Results from Santiago de Chile. *Transportation Research Part A: Policy Practice*, no 103, pp. 311–326.
- UITP (2020) Management of COVID-19: Guidelines for Public Transport Operators. Factsheet, March 2020. *International Association of Public Transport (UITP)*. Available at: <https://www.uitp.org/management-covid-19-guidelines-public-transport-operators> (accessed 30 February 2021).
- Valentino-DeVries J., Lu D., Dance G.J.X. (2020) Location Data Says It All: Staying at Home During Coronavirus Is a Luxury. *New York Times*. April 3, 2020. Available at: <https://www.nytimes.com/interactive/2020/04/03/us/coronavirus-stay-home-rich-poor.html> (accessed 30 February 2021).
- van Doremalen N., Bushmaker T., Morris D.H., Holbrook M.G., Gamble A., Williamson B.N. et al. (2020) Aerosol Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, no 382 (16), pp. 1564–1567.
- West J., Cats O. (2017) Individual Synergetic Effects of Transit Service Improvement Strategies: Simulation Validation. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, no 143 (12).
- WHO (2020a) Advice on the Use of Masks in the Context of COVID-19: Interim Guidance, 5 June 2020. *World Health Organization*. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332293> (accessed 30 February 2021).
- WHO (2020b) Coronavirus Disease (COVID-19) Advice for the Public. *World Health Organization*. Available at: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public> (accessed 30 February 2021).
- Wong Y. (2020) To Limit Coronavirus Risks on Public Transport, Here's What We Can Learn from Efforts Overseas. *The Conversation*. March 16, 2020. Available at: <https://theconversation.com/to-limit-coronavirus-risks-on-public-transport-heres-what-we-can-learn-from-efforts-overseas-133764> (accessed 30 February 2021).
- Yap M., Cats O., van Arem B. (2020) Crowding Valuation in Urban Tram Bus Transportation Based on Smart Card Data. *Transportmetrica A: Transport Science*, no 16 (1), pp. 23–42.

ГРЭМ КАРРИ

ЛОЖЬ, НАГЛАЯ ЛОЖЬ, АВТОНОМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА, СОВМЕСТНАЯ МОБИЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА¹

Грэм Карри, профессор общественного транспорта, факультет гражданского строительства, Университет Монаша; директор Исследовательской группы общественного транспорта (PTRG), Университет Монаша; Australia, Vic. 3800, Melbourne, Clayton Campus, Colledge Walk (B60), 23.

E-mail: Graham.Currie@monash.edu

Статья посвящена критике распространенных дискурсов об автоматизированных (беспилотных) транспортных средствах и совместной (шеринговой) мобильности, согласно которым в будущем эти группы технологий будут доминировать в сфере транспорта и вытеснят общественный транспорт. Автор подробно разбирает ложные тезисы в основе каждого из этих дискурсов и показывает, что даваемые ими обещания необоснованны или даже противоречат фактам. Ключевое из них — решение проблемы перегруженности городских дорог. Только общественный транспорт благодаря высокой заполняемости может эффективно использовать дорожное пространство, в то время как совместная мобильность чаще всего не подразумевает совместные поездки, а значит, и повышение заполняемости автомобилей. В заключение автор намечает перспективные тренды в сфере общественного транспорта — в частности, синтез элементов организации разных видов транспорта и дальнейшее внедрение шеринга и автоматизации.

Ключевые слова: автономные транспортные средства, общественный транспорт, совместная мобильность; шеринг

Цитирование: Карри Г. (2019) Ложь, наглая ложь, автономные транспортные средства, совместная мобильность и будущее городского транспорта // Городские исследования и практики. Т. 4. № 4. С. 30–41. DOI: <https://doi.org/10.17323/usp44201930-41>

«Есть три вида лжи: ложь, наглая ложь и статистика».
Марк Твен или Бенджамин Дизраэли [Velleman, 2008]²

Введение

Мне кажется, в дискуссиях о будущем транспорта вообще и общественного транспорта в частности — огромное количество чепухи. Как исследователь в этой области, я в бешенстве, мои эмоции перехлестывают через край. Меня выводят из себя пустые заявления, что у общественного транспорта нет будущего, и мне кажется, что многое из того, о чем говорят в отношении транспортных будущих вообще, идет вразрез и с реальностью, и с долгой историей накопленных знаний о поведении человека, экономике, городах, и мобильности. Я надеюсь, что после моей статьи читатели начнут по-другому воспринимать преобладающий сейчас дискурс, и хочу поделиться своими чувствами по этому поводу. В любом случае обсуждение этих вопросов полезно, и есть новые точки зрения, которые стоит обсудить.

1 Перевод с английского по изданию: Currie G. (2018) Lies, Damned Lies, AVs, Shared Mobility, and Urban Transit Futures // Journal of Public Transportation. Vol. 21. No. 1. P. 19–30. CC BY-NC 4.0.

2 Я хотел начать эту статью со знаменитой цитаты Бенджамина Дизраэли о «лжи и наглой лжи»; но, пытаясь найти источник, чтобы точно процитировать эту фразу, обнаружил, что нет никаких известных подтверждений, что это сказал Дизраэли, и многие думают, что это слова Марка Твена. В любом случае, я принимаю эту путаницу с ироническим благоговением; то, что я считал краеугольным камнем для размышлений об истине, на самом деле может быть ложью. Возможно, есть что-то пророческое в том, чтобы начинать так статью о будущем городского транспорта.

Задача этой статьи — исследовать перспективы общественного транспорта, а также проблематизировать и разоблачить распространенный сегодня способ мышления о них. Сначала я опишу довольно необычный подход, в котором «новые слова» будут использоваться в качестве нового средства для объяснения преобладающего мышления. На самом деле статья начинается с «Конца», поскольку читателям важно понимать, что преобладающая точка зрения состоит в вере в то, что у общественного транспорта нет будущего. Предлагается новое слово *автоном-но-(н)е движение* (auto-no-(e)motion), чтобы читатели могли оценить, насколько вероятно, что будущее за автономными автомобилями, и насколько возможно, что «король-то голый». Затем вводится слово *совмест-но-(н)е использование* (non-o-sharing), чтобы помочь читателям понять, что я буду называть *ложью о совместной мобильности*. Завершается статья кратким объяснением того, почему будущее городов — за общественным транспортом; вводится термин *транспортный синтез* (transit fusion) как новый способ объяснения того, как события нашего прошлого повлияют на будущее общественного транспорта в городах.

Подход

Рассуждения о будущем очень зависят от модных тенденций и часто переменчивы. Ключевым элементом новых тенденций в мышлении является создание и заимствование новых слов для новых смыслов, которые легче понять неспециалистам. Так, автономные транспортные средства (АТС) оказались связаны с *automobility* (автономная мобильность), а Uber, Lyft, каршеринг и байкшеринг — с термином *shared mobility* (совместная, или шеринговая, мобильность). Все эти слова часто ассоциируются с очень позитивным и прогрессивным образом технологических изменений, которые направлены на решение серьезных городских проблем с помощью систем, ориентированных на замену частного автомобиля новой, более простой в использовании альтернативой. Существенной частью этого распространенного нарратива является тезис о том, что общественный транспорт устарел, не работает и его время в качестве альтернативы частному транспорту подходит к концу. Говорят, что АТС и совместная мобильность являются прогрессивными альтернативами и растут так быстро, что скоро займут место общественного транспорта. Я крайне скептически отношусь к этому преобладающему сейчас мышлению, поэтому собираюсь применить в этой статье подход с использованием «новых слов», чтобы переинтерпретировать это мышление. Попутно я буду выделять то, что считаю ложью, и то, что считаю правдой, приводя некоторые технические свидетельства в поддержку этих взглядов.

Конец

На планете Земля легко найти противников общественного транспорта, многие из них являются его регулярными пассажирами, и им приходится иметь дело с постоянными опозданиями, изношенной инфраструктурой и толпами людей. Но в последнее время в дискуссиях вокруг *новой мобильности* (еще один новый термин) часто встречаются новые подходы к транспорту, объявляющих о конце традиционного общественного транспорта в городах — например, в таких статьях, как «Конец общественного транспорта и рождение новой мобильности» Института Катона [Cato Institute, 2014] и «Конец общественного транспорта?» Аланы Сэмюэлс [Semuels, 2016].

В этом нарративе редко встречается сколько-нибудь обоснованная и опирающаяся на факты оценка практических альтернатив. Скорее предполагается, что общественный транспорт устарел и не работает, что возможны лучшие и более дешевые альтернативы. Еще иногда подразадается, что внедрению новых видов мобильности препятствуют устаревшие представления об общественном транспорте.

Автоном-но-(н)е движение

ОПРЕДЕЛЕНИЕ: *Автоном-но-(н)е движение* — это недобросовестное использование концепции автономного автомобиля технологическими компаниями с целью убедить публику, что беспилотный автомобиль решит все проблемы мобильности в мире, позволив нам избавиться от городского общественного транспорта, который из рук вон плох и от которого все равно давно следовало избавиться, — скатертью дорога!

Популярную культуру захлестнуло цунами интереса к беспилотным автомобилям. Однако основной упор при этом делался на том, что это будущее для легковых автомобилей, что беспилотные автомобили сделают города более эффективными и даже что это будет концом общественного транспорта (см., напр., [Ross, 2016]).

Думаю, выражение «король гол» вполне применимо к нынешним представлениям об АТС. Еще слишком рано думать, что такие автомобили станут преобладающим средством передвижения в городах; в 2016 году в Калифорнии было всего 180 экспериментальных АТС на 35,3 млн автомобилей [Turner, 2017]. До возможности участвовать в дорожном движении АТС предстоит пройти еще долгий путь. Действительно, у нас еще нет реальных работающих моделей, которые бы участвовали в общем дорожном движении; текущий этап реализации — скорее испытания и тесты. На моей собственной работе в Сингапуре, одной из мировых «столиц АТС», в каждом автономном автомобиле «на всякий случай» сидит водитель. Конечно, вполне может случиться, что эта технология так и не заработает и не будет принята. Судя по всему, эта возможность сейчас вообще не обсуждается, хотя в истории исследований транспорта есть много примеров того, как технология «не взлетела» (например, Segway, Sinclair C5, летающие автомобили, судна на воздушных подушках, маглевы и многие другие). На самом деле для новых технологий провал не является чем-то необычным. Переоценка и шумиха вокруг той или иной идеи тоже довольно распространенное дело и укладывается в теоретическую модель, называемую циклом зрелости технологии (Hype Cycle) [Gartner, 2016]. Сейчас это веб-сайт, который отслеживает, как новые идеи проходят по кривой от фазы чрезмерного хайпа через пик завышенных ожиданий во впадину разочарования и далее. На рис. 1 показан график движения технологии АТС по кривой цикла за последние несколько лет. АТС достигли пика завышенных ожиданий в 2015 году и начали спуск во впадину разочарования.



Рис. 1. Технологии автоматизированных транспортных средств и их прогресс на кривой зрелости технологии

Источник: редакция автора на основе [Gartner, 2016].

В обосновании того, как АТС будут помогать в решении транспортных проблем городов, есть ряд существенных пробелов, которые указывают на то, что общественный транспорт на самом деле может оказаться лучшим решением. Первый пробел касается проблемы провозной способности. Нет четкого консенсуса по поводу того, что парк АТС способен смягчить серьезную проблему заторов, с которой сталкиваются растущие города во всем мире. Не усугубит ли он проблему? Последние исследования, посвященные перспективам АТС, свидетельствуют, что любые сценарии, в которых АТС помогают городам эффективно работать, требуют городского рельсового транспорта для перевозки больших масс пассажиров [International Transport Forum, 2015]. А ключевой аргумент этой дискуссии заключается в том, что нам нужна более высокая наполняемость транспортных средств, чтобы эффективно использовать пространство в перегруженных растущих городах (императив, к которому я еще вернусь). Это, несомненно, главное обоснование и преимущество общественного транспорта.

Кроме того, аргумент, что «АТС займут место общественного транспорта», основан на важной лжи. Эта ложь касается утверждения, что сама концепция общественного транспорта слишком устарела, чтобы вписаться в современные тенденции развития технологий автономного транспорта, и, следовательно, беспилотные системы на базе автомобилей возьмут верх. Вот простой факт: сегодня автономный общественный транспорт *доминирует* в наземных пассажирских перевозках на планете Земля и, вероятно, сохранит свое место по крайней мере в течение следующего десятилетия. Четверть всех железных дорог в Азии обходится без машинистов; автономные поезда работают сегодня в Ванкувере, Барселоне, Лондоне (линия Виктория), Нью-Йорке (AirTrain в Международном аэропорту имени Джона Кеннеди) и многих других городах мира. С 2006 по 2011 год протяженность путей, обслуживаемых автоматизированными поездами, удвоилась; ожидается, что с 2011 по 2025 год этот показатель вырастет более чем на 130% [UITP, 2011]. Автономные поезда — это не фаза испытаний и не теория; сегодня это полноценные системы пассажирских перевозок. Кажется, в шумихе вокруг беспилотных автомобилей об этих важных фактах забывают. Забавно, что значительная часть испытаний АТС сегодня — это испытания беспилотных автобусов; как же АТС могут стать концом общественного транспорта, если они уже являются его существенной частью?

Совмест-но-(н)е использование

ОПРЕДЕЛЕНИЕ: *Совмест-но-(н)е использование* — это не совместное использование, а использование слов, чтобы это так выглядело. Это недобросовестное использование слова *шеринг* (совместное пользование) технологическими компаниями с целью представить новые способы использования автомобиля как благо, при этом некорректно утверждается, шеринг обеспечивает заполненность множества совместно используемых автомобилей. Это делается для того, чтобы показать, что такой транспорт намного лучше, чем городской общественный транспорт, который нехорош и не предполагает никакого «хорошего» совместного использования и от которого поэтому нужно как можно скорее избавиться.

Совместная, или шеринговая, мобильность — это термин, который сейчас широко используется применительно к сетевым транспортным компаниям вроде Uber и Lyft, велосипедному и каршерингу. Также широко распространено утверждение, что связанные с ними гибкие транспортные системы бросают вызов общественному транспорту и даже хотят заменить его [Free Enterprise, 2014; Johnson Moussako, 2014; Brustein, 2016].

У совместной мобильности много прекрасных качеств, и ее образ как прогрессивной и полезной вполне заслужен. Она наглядно иллюстрирует некоторые из лучших применений новых информационных и коммуникационных технологий как средств, упрощающих бронирование и использование транспортной системы. Использование велосипеда имеет множество преимуществ для здоровья и физической нагрузки, а каршеринг может значительно сократить количество владельцев автомобилей в городах. Тем не менее я утверждаю, что термин *совместная мобильность* — ложь; я считаю, что он используется, чтобы убедить нас, что подобная мобильность предполагает совместное использование и заполнение транспортного средства и, следовательно, является справедливым и эффективным. Но, на мой взгляд, ложь состоит в том, что совместная мобильность не предполагает именно совместной поездки в транспортном средстве. Кроме того, сегодня высказывается точка зрения, согласно которой растущий объем совместной мобильности в наших городах предлагает новые решения для старых проблем. Я же утверждаю, что это тоже ложь.

Ложь №1. Совместная мобильность предполагает совместное использование транспортного средства.

Заполняемость шерингового велосипеда почти всегда равна одному пассажиру; это значит, что никакого *совместного использования* нет. По данным из Калифорнии, средняя заполняемость транспортного средства Uber в пробках составила с учетом водителя 1,66 пассажира на единицу транспорта [SFCTA, 2017]. То есть 0,66 пассажира на поездку или пустой автомобиль при интенсивности движения 34%. То есть 34% автомобилей Uber, находящихся на дорогах, пусты. Это не совместное заполнение. Даже при заполненности в более чем один пассажир степень совместного использования едва ли очень высока. В исследовании каршеринга, также проведенном в Калифорнии, среднее заполнение автомобиля составило 1,44 пассажира [Cervero et al., 2007]. В этом случае водитель тоже

является пассажиром, поэтому есть какая-то степень совместного использования, но до показателей заполнения общественного транспорта она далека. В одном поезде могут путешествовать более 2000 человек — вот это настоящая совместная мобильность! Автобус с 50 пассажиров — тоже настоящая коллективная мобильность. В конечном счете большинство новых форм совместной мобильности не предполагают совместного использования транспортного средства, но будущее растущих городов требует именно его. А это как раз то, что дает общественный транспорт.

Ложь № 2. Рост объема совместной мобильности трансформирует использование шерингового транспортного средства в городах.

Легко подумать, посмотрев на графики на рис. 2–4, что совместная мобильность — это наше будущее. Но, прежде чем перейти к такому выводу, нужно сделать несколько оговорок. Во-первых, представленные данные показывают, что в 2014 году в мире было около 100 000 автомобилей каршеринга (в 2017 году, может быть, вдвое больше). В 2015 году в США было 180 000 водителей Uber и 24 000 прокатных велосипедов. Хотя эти цифры выглядят большими, на деле это капля в море на фоне 1,2 млрд зарегистрированных автомобилей во всем мире [Davis et. al., 2014] и 264 млн автомобилей в США [Statista, 2017]. Доля совместно используемых транспортных средств крошечна, и на дорогах преобладают частные автомобили.

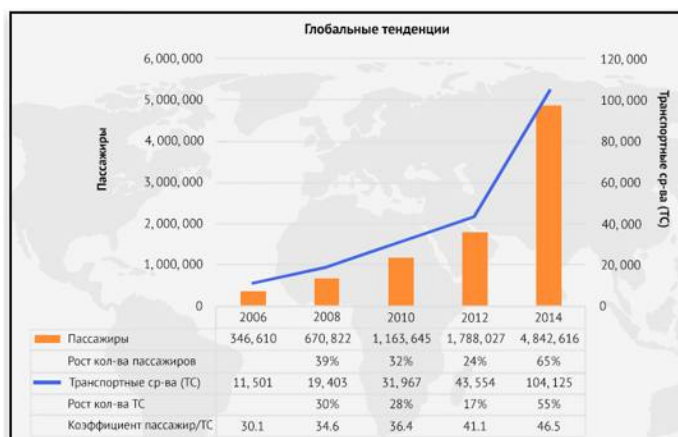


Рис. 2. Глобальные тенденции

Источник: [Shaheen, Cohen, 2016].

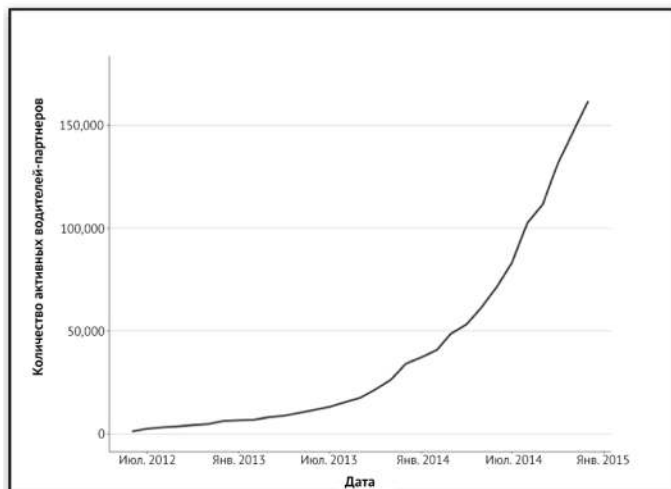


Рис. 3. Количество активных водителей-партнеров в США ежемесячно

Источник: [Hall, Krueger, 2015].

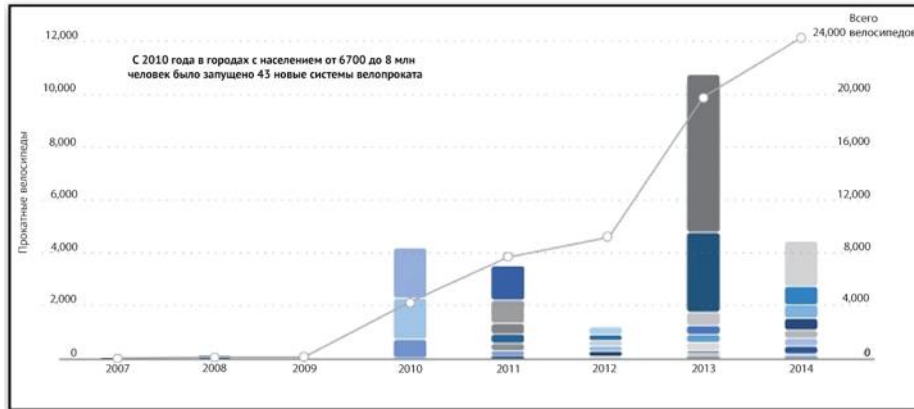


Рис. 4. Рост систем проката велосипедов в США, 2010–2014 годы

Источник: [Shared-Use Mobility Center, 2015].

И есть другие данные; заполненность автомобилей резко снизилась и продолжает снижаться. Рис. 5 иллюстрирует эту проблему. Он показывает данные о заполненности автомобилей в австралийских городах за последние 30 лет. Заполнение легковых автомобилей при поездках на работу сейчас близко к 1,0 и является самым низким для поездок в пиковое время (когда потребность в более высоком заполнении самая большая). Мировые и американские тенденции имеют ту же направленность. Итак, «неудобная правда» заключается в том, что совместная мобильность снижается, а не растет. Это великая трагедия, с которой мир должен что-то сделать. Делать вид, что совместная мобильность увеличивается, не поможет.

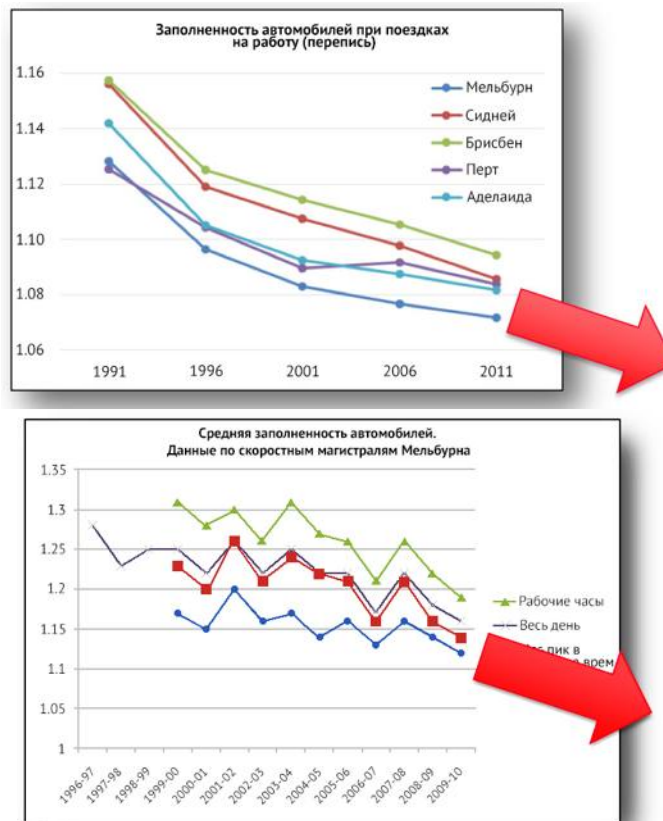


Рис. 5. Изменение заполненности автомобилей: доля совместного использования уменьшается, а не растет

Источник: Charting Transport, <https://chartingtransport.com/tag/car-occupancy/>.

Стрелки на *рис. 5* указывают на прогноз будущей заполняемости автомобилей на основе исторических тенденций. Возможно падение ниже 1,0 человека на автомобиль, что маловероятно для нынешнего уровня технологий, при котором без человека-водителя не обойтись. Тем не менее АТС-системы делают этот результат вполне достижимым, поскольку поездки в рамках изменения места парковки, подачи под посадку и отбытия с места высадки пассажиров становятся возможными и без человека в автомобиле. Репрезентирует ли это совместную мобильность? Является ли будущее с АТС, часть из которых едут пустыми, реалистичным решением проблемы больших объемов дорожного потока в густонаселенных районах?

Еще кое-что стоит сказать об АТС и совместной мобильности в контексте общественного транспорта. Как правило, критики общественного транспорта считают, что переход к этим новым формам мобильности приведет к снижению его использования. Я утверждаю, что есть много свидетельств в пользу того, что это тоже не так. При исследовании на рынке пассажирских услуг профилей людей, которые использовали новые виды совместной мобильности, выяснилось, что общественный транспорт является основным компонентом мобильности [*Shared-Use Mobility Center, 2016*]. Более того, использование средств совместной мобильности дополняет и активно увеличивает использование общественного транспорта, в частности, потому, что среди особенно активных пользователей шеринга меньше доля автовладельцев, а с сокращением владения автомобилями тесно связан характер использования общественного транспорта [*Shared-Use Mobility Center, 2016*]. Действительно, появляется все больше стратегических оценок будущего городов, которые подтверждают эту точку зрения. Согласно прогнозу международного обзора будущего городов, новые сервисы передвижения приведут либо к росту, либо к сохранению существующего объема использования общественного транспорта во всех исследуемых городских контекстах [*Bouton et al., 2015*]. Подобные оценки предполагают, что новые способы мобильности, возможно, помогут решить проблемы первой или последней мили, с которыми сталкиваются пассажиры при использовании некоторых видов общественного транспорта, и тем самым повысят площадь покрытия и привлекательность его услуг.

Почему общественный транспорт?

Города теперь являются домом человечества. В 2007 году впервые более половины мирового населения мира составляли жители городов [*United Nations Population Fund, 2007*]. В период с 2000 по 2030 год число жителей городов в мире удвоится. В городских поездках преобладает личный автомобиль [*Cosgrove et al., 2009*], и это вызывает серьезную обеспокоенность будущим человечества.

- Сегодня многие признают, что пробки на дорогах являются одной из основных и усугубляющихся проблем городского транспорта [*Cervero, 1991; Downs, 1992; Arnott, Small, 1994*]. В Австралии заторы обходятся экономике в 9,4 млрд долл. в год (2005 год), и, как ожидается, к 2020 году эта цифра вырастет до 20,4 млрд долл. [*Bureau of Transport Regional Economics, 2007*]. Исходя из нынешней концептуализации АТС, вполне вероятно, что их внедрение увеличит количество поездок, поскольку воспользоваться АТС смогут те, кто не умеет водить автомобиль. Вдобавок снижение наполняемости транспортных средств вкупе с тем, что АТС могут двигаться по дороге без пассажиров, означает, что в городах будущего трафик АТС может серьезно вырасти, а не сократиться.
- Автомобильное движение оказывает значительное социальное влияние на качество жизни в городах [*Вучик, 2011*] — взять хотя бы разделение городских сообществ загруженными дорогами — и рост социального неблагополучия [*Rosenbloom, 2007*]. Увеличивающиеся объем трафика АТС, безусловно, усугубят эту проблему, затронув большую часть населения в растущих городах.
- Исследования установили тесную связь между физической активностью и здоровьем [*British Medical Association, 1997; Dora Phillips, 2000*]. Использование общественного транспорта связано с большей физической активностью, чем поездка на автомобиле, и рост использования автомобилей вызывает все большую обеспокоенность в отношении здоровья [*Woodcock et al., 2007*]. Услуги в режиме «от двери до двери», предполагаемые АТС и средствами совместной мобильности (за исключением велосипедов), могут сократить пешее передвижение и физическую активность.

Только общественный транспорт может справиться со всеми этими проблемами, поскольку у него наибольшая среди транспортных средств заполняемость и способность эффективно перевозить большие количества людей в условиях быстрорастущих и загруженных городов.

Какое же будущее ждет в этом контексте общественный транспорт? Думаю, в высшей степени прогрессивное и большое. Новые технологии вовсе не маргинализируют общественный транспорт, а освобождают его. Ожидается, что в городах будущего он продолжит рост. Ключевой императив — сделать будущее человечества эффективным и рациональным, чтобы люди могли совместно пользоваться транспортными средствами большой вместимости, которые бы эффективно передвигались по туннелям и эстакадам, с приоритетом на улицах, где проживает большинство людей.

Транспортный синтез

ОПРЕДЕЛЕНИЕ: *Транспортный синтез* (transit fusion) — это приспособление общественных транспортных средств, инфраструктуры и организации сервиса с целью объединить лучшие качества наиболее эффективных способов передвижения в новые виды общественного транспорта и услуг, чтобы улучшить общую производительность, привлекательность и эффективность сервиса.

В последнее время транспортный синтез стал трендом, просто это еще не осознали. Самый очевидный пример из недавних — системы скоростного автобусного транспорта (bus rapid transit), в которых на основе наработок железнодорожного сервиса организуются «пути на шинном ходу», для которых характерны график движения с высокой частотой, остановки с платформами и турникетами, как на железнодорожных станциях, а также право проезда, как у железнодорожного транспорта. В какой-то степени легкорельсовый транспорт был ранним воплощением этого тренда, ведь он предполагал реализацию качеств электричек и городского рельсового транспорта в условиях пригородного, районного и уличного сообщения.

Я считаю, что транспортный синтез как тенденция сохранится и будет развиваться, осваивая новые виды мобильности, чтобы решать проблемы первой/последней мили. Ряд операторов общественного транспорта уже тестируют такие синтетические системы в сотрудничестве с транспортными сетями, чтобы обеспечивать доставку пассажиров на железнодорожные станции. Во многих городах Китая сегодня (и еще недавно в Нидерландах) системы велопроката — основа обеспечения доступа к железнодорожным станциям. Другой более фундаментальный и потенциально революционный вариант развития тренда транспортного синтеза связан с превращением департаментов общественного транспорта в агентства совместной мобильности. Некоторые немецкие железнодорожные операторы уже начали использовать схемы каршеринга. Они обнаружили, что транзитным пассажирам иногда нужны автомобили, и лучшим местом, чтобы предоставить их, как раз и являются железнодорожные станции, которыми эти пассажиры пользуются каждый день. Мало кто задумывался об интересной мысли: не будут ли агентства общественного транспорта очевидным кандидатом на роль института управления и обслуживания парка АТС, если будущее все же за этим видом транспорта? Они уже эксплуатируют и обслуживают большие парки транспортных средств, охватывающие все города с пригородами. Есть ли какая-либо инстанция, которая была бы в лучшем положении и уже обладала комплексами депо, чтобы заняться внедрением АТС в будущем?

Таким образом, в моей версии будущее общественного транспорта включает в себя существенный рост его масштабов и всемирное распространение сервисов по мере того, как города продолжают расти и требуют большей эффективности и экономичности совместного использования транспортных средств. В преобладающем дискурсе об АТС и совместной мобильности есть ряд ложных тезисов, согласно которым общественный транспорт в будущем ждет сокращение из-за развития этих новых типов транспорта. На самом же деле системы общественного транспорта — единственный вариант транспорта, обеспечивающий совместное использование и заполняемость в необходимом объеме и с тем качеством, которые могут удовлетворить потребности больших и растущих городов. Новые технологии совместной мобильности и АТС улучшат перспективы общественного транспорта, снизив издержки и повысив его привлекательность. Критическим недостатком современного нарратива об АТС и совместной мобильности является непонимание того, что необходимо увеличивать заполняемость транс-

портных средств. При этом во всем мире наблюдается сильная тенденция снижения наполняемости и усиления персонализированной мобильности в одиночку, обусловленная поведением и предпочтениями людей. Это непреодолимые препятствия на пути к эффективному использованию АТС и совместной мобильности — впрочем, системы общественного транспорта добились в этой области большого успеха.

Каким же будет будущее общественного транспорта? Думаю, его необходимым атрибутом станет массовый общественный транспорт на основе рельсовой и скоростной автобусной или легкорельсовой техники. Транспорт, перевозящему большое количество пассажиров, нужно исключительное право проезда. Простые расчеты показывают, что лучшим способом более экономного использования дефицитного городского пространства в массовых перевозках являются совместно заполняемые транспортные средства, а не частный транспорт, которым пользуются в одиночку. Транспортный синтез обеспечит наиболее подходящий дизайн такой системы, но это потребует отхода от традиционного одномодального мышления в сфере городского транспорта.

Везде ли будущее городского транспорта будет выглядеть именно так? Почти наверняка нет. Для деловых центральных районов, а теперь и ближних и срединных пригородов растущих городов общественный транспорт будет привлекателен и крайне важен. Однако небольшие города и дальние пригороды с низкой плотностью населения столкнутся с проблемой низкой производительности автобусных перевозок и постоянной потребностью в существенных субсидиях. Могут ли новые виды мобильности заменить общественный транспорт в этих условиях? Возможно, конечно, но это рискует оказаться всего лишь принятием желаемого за действительное. Есть удивительно сильная корреляция между доступностью новых видов мобильности и центральными районами с более высокой плотностью движения. Однако в районах с меньшей плотностью более низкий спрос, более распыленные точки окончания поездки, а сами поездки длиннее. В этих условиях всем видам мобильности сложно обеспечить качественное обслуживание, и я пока не видел свидетельств в пользу того, что в долгосрочной перспективе сервисы на основе новых видов мобильности могут справляться лучше, чем существующие базовые автобусные сервисы. Возможно, здесь основанные на автобусах АТС могут оказаться более производительными. Около 70% затрат на автобусы приходится на водителей, поэтому теоретически можно снизить издержки и повысить уровень обслуживания с помощью автоматизированного автобусного сообщения. А как насчет гибких (*demand responsive*) автобусных перевозок? Разумеется, они продвигались многими сервисами новой мобильности. У этой идеи одна проблема — очень длинная история (на протяжении последних 50 лет) почти полного провала гибких автобусных сервисов. До сих пор ни одна из таких схем перевозки не смогла долго продержаться в качестве альтернативы пригородным автобусам. Из недавних (и, быть может, ожидаемых) провалов — гибкие сервисы теперь уже на основе новых видов мобильности, такие как *Bridj*.

Нельзя исчерпывающе предсказать будущее, и то, как мы думаем о нем, часто вызывает сомнения. Никто до конца не понимает, что ждет наши города, но пока они, как и их плотность, растут, общественный транспорт, скорее всего, всегда будет залогом успешного будущего.

Источники

- Вучик В. (2011) Транспорт в городах, удобных для жизни. Москва: Территория будущего.
- Arnott R., Small K. (1994) The Economics of Traffic Congestion//*American Scientist*. No. 82 (5). P. 446–455.
- Bouton S., Knapfer S., Mihov I., Swartz S. (2015) Urban Mobility at a Tipping Point//McKinsey & Company. Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/urban-mobility-at-a-tipping-point> (дата обращения: 30.02.2021).
- British Medical Association (1997) Road Transport and Health. London: BMA Professional Division Publications.
- Brustein J. (2016) Uber and Lyft Want to Replace Public Buses//*Chicago Tribune*. Режим доступа: <http://www.chicagotribune.com/business/ct-uber-lyft-public-transit-20160815-story.html> (дата обращения: 30.02.2021).
- Bureau of Transport and Regional Economics (2007) Estimating Urban Traffic and Congestion Cost Trends for Australian Cities. Working Paper No 71. Canberra, Australia: Department of Transport and Regional Services.
- Cato Institute (2014) The End of Transit and the Beginning of the New Mobility: Policy Implications of Self-Driving Cars. Режим доступа: <https://www.cato.org/events/end-transit-beginning-new-mobility-policy-implications-self-driving-cars> (дата обращения: 30.02.2021).

- Cervero R. (1991) Congestion, Growth, and Public Choices//Berkeley Planning Journal. No. 3 (2). P. 55–75.
- Cervero R., Golub A., Nee B. (2007) City CarShare: Longer-Term Travel Demand and Car Ownership Impacts//Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. No. 1992 (1). P. 70–80.
- Cosgrove D., Gargett D., Mitchell D. 2009. Urban Passenger Transport: How People Move about in Australian Cities. Information Sheet 31. Canberra, Australia: Bureau of Infrastructure, Transport and Regional Economics.
- Davis S., Diegel S.W., Boundy R. (2014) Transportation Energy Data Book: Edition 33. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory.
- Dora C., Phillips M. (Eds.) (2000) Transport, Environment and Health. WHO Regional Publications, European Series, No. 89. World Health Organization Regional Office for Europe.
- Downs A. (1992) Stuck in Traffic: Coping with Peak-Hour Traffic Congestion. Washington, DC: The Brookings Institution.
- Free Enterprise (2014) Bridj: A Bridge to a New Kind of Mass Transit. Washington, DC: U.S. Chamber of Commerce.
- Gartner (2016) Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies Three Key Trends That Organizations Must Track to Gain Competitive Advantage. Press Release. Режим доступа: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3412017> (дата обращения: 30.02.2021).
- Hall J., Krueger A. (2015) An Analysis of the Labor Market for Uber's Driver-Partners in the United States. IRS Working Paper #587. Princeton University. Режим доступа: <http://arks.princeton.edu/ark:/88435/dsp010z708z67d> (дата обращения: 30.02.2021).
- International Transport Forum (2015) Urban Mobility System Upgrade – How shared self-driving cars could change city traffic. Corporate Partnership Board Report. OECD.
- Johnson B., Moussako A. (2014) Pop-up Bus Service Looks to Reinvent Mass Transit//Marketplace. American Public Media. Режим доступа: <https://www.marketplace.org/2014/07/03/tech/pop-bus-service-looks-reinvent-mass-transit> (дата обращения: 30.02.2021).
- Rosenbloom S. (2007) Lessons for Australia from the US: an American Looks at Transportation and Social Exclusion//No Way to Go: Transport and Social Disadvantage in Australian Communities/G. Currie (ed.). Clayton, Vic: Monash University ePress.
- Ross D. (2016) Driverless Cars Could Make Mass Transit Obsolete//Kiro Radio. Режим доступа: <http://mynorthwest.com/433989/driverless-cars-mass-transit/> (дата обращения: 30.02.2021).
- Samuels A. (2016) The End of Public Transit?//The Atlantic. Режим доступа: <https://www.theatlantic.com/business/archive/2016/10/public-transportation-uber-chariot/505658/> (дата обращения: 30.02.2021).
- SFCTA (2017) TNC's Today – A Profile of San Francisco Transportation Network Company Activity. Draft Report. San Francisco, CA: San Francisco County Transportation Authority.
- Shaheen S., Cohen A. (2016) Innovative Mobility Carsharing Outlook: Carsharing Market Overview, Analysis, and Trends, Winter 2016. Transportation Sustainability Research Center, University of California, Berkeley.
- Shared-Use Mobility Center (2015) What Bikesharing's Growth Means for Shared Mobility//Bikesharing News. Режим доступа: <http://sharedusemobilitycenter.org/news/what-bikesharings-growth-means-for-shared-mobility/> (дата обращения: 30.02.2021).
- Shared-Use Mobility Center (2016) Shared Mobility and the Transformation of Public Transit. TCRP J-11/TASK 21, Transit Cooperative Research Program and American Public Transportation Association.
- Statista (2017) Number of Vehicles Registered in The United States from 1990 to 2015 (in 1,000s). Режим доступа: <https://www.statista.com/statistics/183505/number-of-vehicles-in-the-united-states-since-1990/> (дата обращения: 30.02.2021).
- Turner N. (2017) The Digital Driving Age: A Bumpy Road Ahead?//Stratforma Consulting Limited (blog). Режим доступа: <http://www.stratforma.com/the-digital-driving-age-a-bumpy-road-ahead/> (дата обращения: 30.02.2021).
- UITP (2011) Metro Automation Facts, Figures and Trends. Press Kit. Brussels, Belgium: Union Internationale des Transports Publics.
- United Nations Population Fund (2007) State of World Population 2007 – Unleashing the Potential of Urban Growth. New York: United Nations Population Fund.
- Velleman P. (2008) Truth, Damn Truth, and Statistics//Journal of Statistics Education. Vol. 16 (2).
- Woodcock J., Banister D., Edwards P., Prentice A., Roberts I. (2007) Energy and Health 3: Energy and transport//Lancet. No. 370. P. 1078–1088.

GRAHAM CURRIE

LIES, DAMNED LIES, AVS, SHARED MOBILITY, AND URBAN TRANSIT FUTURES

Graham Currie, Professor in Transport Engineering, Department of Civil Engineering, Monash University; Director of Public Transport Research Group, Monash University; 23 College Walk (B60), Clayton Campus, Melbourne, Vic. 3800, Australia.

E-mail: Graham.Currie@monash.edu

Abstract

The article is devoted to the criticism of the widespread discourses about automated (driverless) vehicles and shared mobility, according to which these groups of technologies will dominate in the future cities and will displace public transport. The author examines in detail the false theses at the heart of each of these discourses and shows that the promises they make are proofless or even contradict the facts. The key one is to solve the problem of congestion on urban roads. Only public transport, due to its high occupancy rate, can effectively use the road space, while shared mobility often does not imply shared trips, and therefore an increase in the occupancy rate of cars. In conclusion, the author outlines promising trends in the field of public transport, in particular, the synthesis of elements of the organization of different types of transport and the further introduction of sharing and automation.

Key words: autonomous vehicles; urban transit; shared mobility

Citation: Currie G. (2019) Lies, Damned Lies, AVs, Shared Mobility, and Urban Transit Futures. *Urban Studies and Practices*, vol. 4, no 4, pp. 30–41. (in Russian) DOI: <https://doi.org/10.17323/usp44201930-41>

References

- Arnott R., Small K. (1994) The Economics of Traffic Congestion. *American Scientist*, no 82 (5), pp. 446–455.
- Bouton S., Knupfer S., Mihov I., Swartz S. (2015) Urban Mobility at a Tipping Point. *McKinsey & Company*. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/urban-mobility-at-a-tipping-point> (accessed 30 February 2021).
- British Medical Association (1997) Road Transport and Health. London: BMA Professional Division Publications.
- Brustein J. (2016) Uber and Lyft Want to Replace Public Buses. *Chicago Tribune*. Available at: <http://www.chicagotribune.com/business/ct-uber-lyft-public-transit-20160815-story.html> (accessed 30.02.2021).
- Bureau of Transport and Regional Economics (2007) Estimating Urban Traffic and Congestion Cost Trends for Australian Cities. Working Paper No 71. Canberra, Australia: Department of Transport and Regional Services.
- Cato Institute (2014) The End of Transit and the Beginning of the New Mobility: Policy Implications of Self-Driving Cars. Available at: <https://www.cato.org/events/end-transit-beginning-new-mobility-policy-implications-self-driving-cars> (accessed 30 February 2021).
- Cervero R. (1991) Congestion, Growth, and Public Choices. *Berkeley Planning Journal*, no 3 (2), pp. 55–75.
- Cervero R., Golub A., Nee B. (2007) City CarShare: Longer-Term Travel Demand and Car Ownership Impacts. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no 1992 (1), pp. 70–80.
- Cosgrove D., Gargett D., Mitchell D. 2009. Urban Passenger Transport: How People Move about in Australian Cities. Information Sheet 31. Canberra, Australia: Bureau of Infrastructure, Transport and Regional Economics.
- Davis S., Diegel S.W., Boundy R. (2014) Transportation Energy Data Book: Edition 33. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory.
- Dora C., Phillips M. (Eds.) (2000) Transport, Environment and Health. WHO Regional Publications, European Series, No. 89. World Health Organization Regional Office for Europe.
- Downs A. (1992) Stuck in Traffic: Coping with Peak-Hour Traffic Congestion. Washington, DC: The Brookings Institution.
- Free Enterprise (2014) Bridj: A Bridge to a New Kind of Mass Transit. Washington, DC: U.S. Chamber of Commerce.

- Gartner (2016) Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies Three Key Trends That Organizations Must Track to Gain Competitive Advantage. Press Release. Available at: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3412017> (accessed 30 February 2021).
- Hall J., Krueger A. (2015) An Analysis of the Labor Market for Uber's Driver-Partners in the United States. IRS Working Paper #587. Princeton University. Available at: <http://arks.princeton.edu/ark:/88435/dsp-010z708z67d> (accessed 30 February 2021).
- International Transport Forum (2015) Urban Mobility System Upgrade – How shared self-driving cars could change city traffic. Corporate Partnership Board Report. OECD.
- Johnson B., Moussako A. (2014) Pop-up Bus Service Looks to Reinvent Mass Transit. *Marketplace. American Public Media*. Available at: <https://www.marketplace.org/2014/07/03/tech/pop-bus-service-looks-reinvent-mass-transit> (accessed 30 February 2021).
- Rosenbloom S. (2007) Lessons for Australia from the US: an American Looks at Transportation and Social Exclusion. G. Currie (ed.). *No Way to Go: Transport and Social Disadvantage in Australian Communities*. Clayton, Vic: Monash University ePress.
- Ross D. (2016) Driverless Cars Could Make Mass Transit Obsolete. *Kiro Radio*. Available at: <http://mynorthwest.com/433989/driverless-cars-mass-transit/> (accessed 30 February 2021).
- Samuels A. (2016) The End of Public Transit? *The Atlantic*. Available at: <https://www.theatlantic.com/business/archive/2016/10/public-transportation-uber-chariot/505658/> (accessed 30 February 2021).
- SFCTA (2017) TNC's Today – A Profile of San Francisco Transportation Network Company Activity. Draft Report. San Francisco, CA: San Francisco County Transportation Authority.
- Shaheen S., Cohen A. (2016) Innovative Mobility Car-sharing Outlook: Carsharing Market Overview, Analysis, and Trends, Winter 2016. Transportation Sustainability Research Center, University of California, Berkeley.
- Shared-Use Mobility Center (2015) What Bike-sharing's Growth Means for Shared Mobility. *Bikesharing News*. Available at: <http://sharedusemobilitycenter.org/news/what-bikesharings-growth-means-for-shared-mobility/> (accessed 30 February 2021).
- Shared-Use Mobility Center (2016) Shared Mobility and the Transformation of Public Transit. TCRP J-11/TASK 21, Transit Cooperative Research Program and American Public Transportation Association.
- Statista (2017) Number of Vehicles Registered in The United States from 1990 to 2015 (in 1,000s). Available at: <https://www.statista.com/statistics/183505/number-of-vehicles-in-the-united-states-since-1990/> (accessed 30 February 2021).
- Turner N. (2017) The Digital Driving Age: A Bumpy Road Ahead? *Stratforma Consulting Limited (blog)*. Available at: <http://www.stratforma.com/the-digital-driving-age-a-bumpy-road-ahead/> (accessed 30 February 2021).
- UITP (2011) Metro Automation Facts, Figures and Trends. Press Kit. Brussels, Belgium: Union Internationale des Transports Publics.
- United Nations Population Fund (2007) State of World Population 2007 – Unleashing the Potential of Urban Growth. New York: United Nations Population Fund.
- Velleman P. (2008) Truth, Damn Truth, and Statistics. *Journal of Statistics Education*, vol. 16 (2).
- Vuchic V. (1999) Transport v gorodakh, udobnykh dlya zhizni [Transportation for Livable Cities]. Moskva: Territoriya budushchego [Moscow: Territory of the Future]. (in Russian)
- Woodcock J., Banister D., Edwards P., Prentice A., Roberts I. (2007) Energy and Health 3: Energy and transport. *Lancet*, no 370, pp. 1078–1088.

АЛЕКСЕЙ КАВЕРИН, ЮРИЙ АРПИШКИН,
ИВАН ГРЕБЕНЩИКОВ, ЛЮБОВЬ МЕДВЕДЕВА,
ГЛЕБ РОМАНОВ

ПОЛИЦЕНТР:

МОДЕЛЬ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТ ТРУДА, ПРОЖИВАНИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЯ

Каверин Алексей Ростиславович, главный специалист сектора градостроительного моделирования ГАУ «Институт Генплана Москвы»; Российская Федерация, 125047, Москва, 2-я Брестская ул., д. 2/14.

E-mail: kaverin.ar.51@gmail.com

Арпишкин Юрий Петрович, главный специалист сектора градостроительного моделирования ГАУ «Институт Генплана Москвы»; Российская Федерация, 125047, Москва, 2-я Брестская ул., д. 2/14.

E-mail: yuarpishkin@genplanmos.ru

Гребенщиков Иван Владимирович, ведущий специалист сектора градостроительного моделирования ГАУ «Институт Генплана Москвы»; Российская Федерация, 125047, Москва, 2-я Брестская ул., д. 2/14.

E-mail: ivg810@mail.ru

Медведева Любовь Вячеславовна, ведущий специалист сектора градостроительного моделирования ГАУ «Институт Генплана Москвы»; Российская Федерация, 125047, Москва, 2-я Брестская ул., д. 2/14.

E-mail: yunde@mail.ru

Романов Глеб Григорьевич, специалист сектора градостроительного моделирования ГАУ «Институт Генплана Москвы»; Российская Федерация, 125047, Москва, 2-я Брестская ул., д. 2/14.

E-mail: romanovgleb@gmail.com

Статья посвящена модели, оптимизирующей размещение основных городских функций на территории Москвы по критериям их взаимной транспортной доступности. Рассматриваются результаты экспериментов по моделированию, проведенному в 2018–2019 годах. Демонстрируется, что прогнозные варианты развития города, генерируемые в процессе оптимизации, способствуют, во-первых, решению транспортной проблемы города (показано на примере вычислительных экспериментов по утреннему часу пик для нескольких десятков вариантов прогноза), во-вторых, созданию условий для развития полицентричности города за счет увеличения посещаемости сложившихся и возникающих периферийных (как правило) центров обслуживания (обосновано на уровне принципов и элементов алгоритма оптимизации). При анализе прогнозной динамики, построенной на основе генерируемых вариантов развития Москвы и еще двух городов, выявлены признаки приближающихся моментов перехода от фазы территориального роста к фазе структурной реорганизации и обратно. Закономерность таких переходов обоснована А.Э. Гутновым в рамках общей теории городского развития.

Ключевые слова: моделирование городов; пространственный анализ; нормативно-поведенческие модели; оптимальность

Цитирование: Каверин А.Р., Арпишкин Ю.П., Гребенщиков И.В., Медведева Л.В., Романов Г.Г. (2019) ПОЛИЦЕНТР: модель размещения мест труда, проживания и обслуживания // Городские исследования и практики. Т. 4. № 4. С. 42–69. DOI: <https://doi.org/10.17323/usp44201942-69>

Введение

В 2017 году мы начали разработку методики, *связывающей* отдельные аспекты решения транспортной проблемы Москвы с оптимизацией размещения основных городских функций и созданием условий для *развития полицентричности* города. Наша разработка продолжает исследования А.Э. Гутнова [Гутнов, 1980; 1984; 1985], приведшие его к принципу цикличности развития градостроительной системы (ГС) с чередованием фаз *территориальный рост — структурная реорганизация*. Ключевой инструмент разрабатываемой методики — модель ПОЛИЦЕНТР [Каверин, Заблудовский, 2003]. В статье обсуждаются результаты тестовых расчетов, которые были проведены в 2018–2019 годах по этой модели и, на наш взгляд, подтвердили успешность первых этапов разработки методики.

Предварительная постановка задачи

Начиная с 1917 года было утверждено четыре генплана Москвы: в 1935, 1971, 1999 и 2010 годах. Важной общей чертой этих проектов была попытка *сократить дисбаланс «центр — периферия»* в размещении мест приложения труда, проживания и обслуживания населения, чтобы улучшить их взаимную транспортную доступность. Поэтому проекты предполагали развитие полицентричной системы обслуживания и создание иных мест приложения труда (МПТ) за пределами исторического центра города. То есть дисбаланс «центр — периферия» признавался многими поколениями разработчиков генеральных планов столицы.

Однако, по оценкам специалистов Института Генплана Москвы, представителей городской власти, экспертного сообщества, в центре города и по сей день переизбыток МПТ и мест обслуживания при недостатке населения, а на периферии — обратная ситуация. Это подтверждается *перегруженностью* транспортных связей, реализующих центростремительные поездки утром и центробежные — вечером. Пока такая перегруженность сохраняется, *актуален вопрос*: насколько можно решить эту социально-транспортную проблему путем развития *полицентричности* города? Другими словами, меняя размещение основных городских функций, а не только принимая меры по развитию транспортных связей и узлов. Исследованию этого вопроса и посвящена данная статья. *Развитие полицентричности* здесь понимается как создание и (или) усиление периферийных (как правило) центров тяготения населения. Речь о *тяготении*, которое реализуется через культурно-бытовые поездки. В центрах, особенно периферийных, для улучшения их доступности и повышения посещаемости, объекты обслуживания должны совмещаться (как правило) с иными рабочими местами и с местами проживания людей, либо такие места должны быть неподалеку от центров. Например, согласно методике выявления пространственной структуры полицентричного города, принятой в неравномерно-районированной модели (НРМ) А.А. Высоковского, индикаторами центров являются объекты обслуживания. Но таким объектам нужен клиент [Котов и др., 2016]¹, и не важно², *проживает он или работает* поблизости. Увеличив рядом с любым центром или в нем самом (не важно) численность населения и (или) рабочих мест, мы тем самым усилим этот центр за счет роста *потока клиентов и финансового потока*. Такой принцип размещения объектов трех городских функций помимо улучшения доступности и повышения посещаемости центров улучшает и ряд качеств городской среды, например функциональное разнообразие, особенно на периферии.

Наше определение развития полицентричности соответствует тому, как в НРМ *понимаются факторы*, влияющие на эволюцию центров, их «успешность и устойчивость». Однако в отличие от НРМ мы не выявляем центры, а пытаемся обеспечить их клиентами. Поэтому меняем акценты в трактовке термина «полицентричность». В статье термин отнесен не к пространственной структуре — как в НРМ, где обслуживание является «главной краской» в изучаемом «слежке города», — а к *функционально-пространственной* структуре (ФПС), где три функции

1 В приведенной публикации показана важная роль потока клиентов в функционировании «центров притяжения», выявляемых при анализе территориального распределения объектов обслуживания. Сами центры рассматриваются как элементы, формирующие пространственную структуру города. Мы ссылаемся именно на эту работу, так как она посвящена Москве и использованию НРМ, которую считаем наиболее надежным, обоснованным инструментом выявления «центров притяжения (активности)».

2 Не важно — для исследования, которому посвящена статья.

«выступают на равных»³. Оптимизируя их размещение и создавая тем самым условия для развития полицентричности Москвы, мы хотим выявить, в какой степени это будет способствовать решению социально-транспортной проблемы, признаком которой — перегруженность транспортных связей, реализующих центростремительные поездки утром и центробежные — вечером.

Схема исследования

Чтобы выявить это, мы будем проводить экспериментальные расчеты, то есть *генерировать варианты* изменений в размещении МПТ, мест проживания и обслуживания населения. Затем для каждого варианта мы оценим *остроту*⁴ обозначенной проблемы с помощью транспортной модели города, которая используется здесь по своему основному назначению. Другие способы оценки (натурные измерения, обследования) отпадают, поскольку проверяемые варианты не существуют в реальности. Для применения данной схемы нужен еще один инструмент — генератор вариантов⁵. Требования к вариантам:

1. это должны быть варианты прогноза ФПС Москвы⁶, которые могут или могли бы реализоваться при некоторых условиях, *теоретически выполнимых*;
2. у нас должны быть основания полагать, что генерируемые варианты *развивают полицентричность ФПС* (см. сноску 3) и в этом смысле оптимальны.

Первое требование (в данном исследовании — по Москве) выполняется путем использования двух базовых прогнозов, основанных на учете утвержденной градостроительной документации⁷. Но при генерировании вариантов базовые прогнозы минимально изменяются путем оптимизации размещения трех городских функций⁸ с помощью модели ПОЛИЦЕНТР. Генерируемые варианты прогноза — результат такой оптимизации.

О выполнении второго требования расскажем подробнее. Модель ПОЛИЦЕНТР разрабатывается, совершенствуется и используется в Институте Генплана Москвы с 1983 года. Все предыдущие версии модели (до 2014 года) создавались для оптимизации размещения *центров обслуживания* (подробнее см. раздел 8). Эти версии модели находили для развиваемых центров такие места и параметры, что доступность обслуживания улучшалась для людей, наиболее заинтересованных в улучшении, то есть находящихся в наихудших условиях по доступности обслуживания. Такие люди, в силу их заинтересованности, обеспечат развиваемым центрам максимальную посещаемость. Эта возможность ПОЛИЦЕНТРа обеспечивалась во всех его версиях системой критериев оптимальности, которая многократно верифицировалась начиная с 1984 года (о гарантиях оптимальности см. также разделы 2–4). На роль генератора вариантов могут претендовать и другие модели⁹, но данная статья посвящена модели ПОЛИЦЕНТР, так как в 2017 году авторы статьи начали разработку *новой версии* методического, математического, алгоритмического и программного обеспечения

-
- 3 Говоря о полицентричности ФПС, мы обязуемся изменять размещение населения и МПТ так, чтобы это создавало оптимальные условия (по наличию клиентов) для развития полицентричности системы обслуживания.
 - 4 Оценка остроты этой проблемы (для Москвы) включает 5–6 показателей для центростремительных поездок и 3–4 показателя — для поездок разнонаправленных. Оценка позволяет выявлять состояния города, в которых развитие полицентричности может, например, приводить к обострению транспортной проблемы. В этом случае применительно к таким состояниям появляется аргумент против развития полицентричности (подробнее см. разделы 6 и 7).
 - 5 Здесь в этой роли проверяется модель ПОЛИЦЕНТР.
 - 6 Исследовались и другие города, из числа которых в статью включены материалы по Казани и Севастополю.
 - 7 Подробнее о базовых прогнозах см. разделы 6 и 7.
 - 8 Варианты, сгенерированные для Москвы на основе первого базового прогноза, рассматриваются в разделе 6; на основе второго — в разделе 7.
 - 9 Подробный обзор моделей, решающих похожие проблемы, не входит в задачу данной статьи. Для сравнения нашего подхода с другими рекомендуем статью [Гостев, 2018], где анализируются динамические структурно-функциональные модели города, укладываемые в рамки общей теории эволюционного городского развития, основы которой сформулированы А.Э. Гутновым [Гутнов, 1984]. В статье М.В. Гостева показано также, что в качестве операционных моделей, учитывающих эволюционную динамику ГС, позднее были разработаны НРМ А.А. Высоковского и территориально-коммуникационная модель ГС О.А. Баевского [Баевский, 2001; 2016]. Поэтому модели А.Э. Гутнова, А.А. Высоковского и О.А. Баевского мы упоминаем чаще других моделей.

этой модели. Новая версия ориентирована на исследование вопроса, сформулированного нами выше. Речь идет об изучении специфичного ресурса¹⁰ Московской агломерации. Он словно скрыт в вариантах¹¹ развития полицентричности ФПС Москвы, но только в тех вариантах, реализация которых будет способствовать решению социально-транспортной проблемы. Введем термин *ресурс ОРП* (ресурс оптимального развития полицентричности) — способность ФПС города в процессе эволюции изменяться, создавая оптимальные условия для развития полицентричности, одновременно способствуя решению социально-транспортной проблемы.

Уточнение задачи

Теоретически реализация предложенной схемы исследования может иметь разные исходы, два из которых находятся на противоположных краях «спектра» возможностей. О положительном исходе можно будет говорить, если генерируемые варианты прогноза, развивая полицентричность города, дадут заметные улучшения в решении социально-транспортной проблемы. Это будет означать не только то, что у города есть ресурс ОРП, но и то, что модель ПОЛИЦЕНТР способна генерировать соответствующие варианты. То есть можно будет утверждать, что у нас имеются основные элементы методики, ориентированной на исследование этого ресурса в будущем. Если же мы не получим улучшений, то будем констатировать исчерпанность ресурса ОРП в городе¹² и (или) то, что генератор вариантов *не справляется* со своей задачей.

Приведенное выше краткое описание схемы нашего исследования и комментариев к возможным исходам экспериментов расширяют тему статьи. Мы не только проверяем наличие ресурса ОРП в Москве. Проверяется также и модель ПОЛИЦЕНТР в качестве генератора вариантов прогноза для разрабатываемой методики. Схема данного исследования — *«прототип» такой методики*.

Результаты экспериментальных расчетов позволяют продемонстрировать в разделах 6 и 7, что Москва¹³ обладает ресурсом ОРП, а модель ПОЛИЦЕНТР способна генерировать соответствующие варианты. Положительность исхода экспериментов — факт очень важный для разрабатываемой методики. Поэтому его доказательству в статье уделено основное место. Хотя данный факт доказан только для тех городов и тех их состояний, что участвовали в экспериментальных расчетах, количество анализируемых состояний (несколько десятков вариантов прогноза) и скрупулезность многокритериального анализа (сравнение вариантов по 8–11 критериям, отражающим остроту социально-транспортной проблемы каждого варианта)¹⁴ должны убедить читателя в корректности наших выводов.

Особенности исследования

Главные особенности вытекают из необходимости использовать *транспортную модель* как инструмент оценки генерируемых вариантов с точки зрения решения социально-транспортной проблемы. Важна тождественность структур данных, описывающих ФПС города в модели ПОЛИЦЕНТР и в транспортной модели. Выделим два признака тождественности.

Во-первых, в обеих моделях должно совпадать районирование территории города. Применительно к нашему исследованию это означает невозможность выделять центры тяго-

10 Данный ресурс складывается из возможностей изменять ФПС на территориях, допускающих изменение застройки, а также из возможностей транспортной сети по перевозке пассажиров в условиях перераспределения потоков, происходящего из-за упомянутых изменений ФПС города.

11 Мы говорим, что ресурс скрыт в вариантах, так как проверить его наличие можем, только генерируя варианты прогноза и оценивая применительно к ним остроту социально-транспортной проблемы. Об элементах модели ПОЛИЦЕНТР, значимых в исследовании ресурса, см. разделы 1–5. О признаках наличия и исчерпаемости ресурса см. разделы 6 и 7.

12 Наличие ресурса ОРП — важное условие для осуществления фазы структурной реорганизации в развитии ГС (по А.Э. Гутнову), а усиление полицентризма системы центров обслуживания — часть процесса развития, характерная для этой фазы.

13 По Казани и Севастополю — аналогичный результат.

14 Сравнение по В. Парето с учетом соображений, изложенных в разделах 6 и 7.

тения населения с характерной для НРМ степенью территориальной дифференциации¹⁵. Причина — расчетные районы транспортной модели Московской агломерации в несколько раз крупнее, чем «ячейки стандартизированной сетки», использованной для Москвы в рамках НРМ.

Во-вторых, в этих моделях должна совпадать структура показателей, отражающих численность населения и число рабочих мест (в объектах обслуживания и иных объектах) в каждом расчетном районе, то есть должны совпадать характеристики каждого района как элемента ФПС города. Вошедшие в статью расчеты по транспортной модели касались только утреннего часа пик, когда культурно-бытовые связи составляют малую долю всех поездок. Поэтому поездки населения (в том числе клиентов) к местам обслуживания и дислокация соответствующих объектов *учитывались, но на самом грубом уровне* — в гипотезе, что количество рабочих мест, пропускная способность объектов обслуживания и частота их посещения клиентами в каждом районе *пропорциональны друг другу*. Кроме того, учитывались общие для всех пассажиров параметры формул транспортной модели. Грубость расчета не позволяет различать в генерируемых вариантах прогноза культурно-бытовые и трудовые поездки и вести их раздельный анализ. Впрочем, ввиду темы статьи такой анализ не является критически необходимым (особенно на ранних этапах разработки методики), поскольку поездки обоих видов — это нагрузка *на одни и те же магистрали*. Гипотеза о пропорциональности применительно к рабочим местам действует так. Увеличивая или уменьшая в процессе оптимизации число МПТ в каком-то районе, мы тем самым увеличиваем или уменьшаем число клиентов и рабочих мест в объектах обслуживания, МПТ в иных объектах этого района. Учитывая такую пропорциональность, в дальнейшем (если не указано иное) термины «число рабочих мест» и «число МПТ» будут означать одно и то же, а именно *количество мест приложения труда плюс обслуживания населения*.

Мы надеемся, что на следующих стадиях разработки нашей методики помимо возможности оптимизировать в каждом районе соотношение «число МПТ — численность населения» появится возможность выделять в МПТ места обслуживания и иные объекты, а также раздельно оптимизировать и анализировать их.

1. Взаимодействие с транспортной моделью

Модель ПОЛИЦЕНТР работает во взаимодействии с четырехстадийной транспортной макро-моделью. Вместе они образуют конструкцию, являющуюся нормативно-поведенческой моделью¹⁶ размещения МПТ и населения (рис. 1). Конструкция имеет два компонента:

- 1) *поведенческий* — транспортная модель способна достигать равновесного состояния, тем самым воспроизводя наиболее вероятное поведение людей при поездках¹⁷;
- 2) *нормативный* компонент — модель ПОЛИЦЕНТР, в которую заложены критерии оптимальности и возможность менять условия достижения равновесия в поведенческом компоненте; именно эта возможность позволяет в процессе оптимизации учитывать те изменения, которые будут происходить в работе транспортной сети вследствие моделируемых изменений в размещении населения и рабочих мест.

¹⁵ Это одна из причин, по которой в данном исследовании мы не выделяем центры тяготения населения.

¹⁶ В отечественной урбанистике первая нормативно-поведенческая модель была разработана, по-видимому, в ЦНИИП градостроительства [Лившиц, 1979].

¹⁷ Задача транспортной модели решается при заданном территориальном распределении (размещении) населения и рабочих мест, при заданной конфигурации транспортной сети и заданных ее характеристиках, с помощью которых описываются возможности проезда пассажиров по всем ее участкам с определенными скоростями. Задаются также поведенческие характеристики пассажиров, с некоторой вероятностью совершающих поездки на разных видах транспорта с разными целями и затратами на поездку.



Рис. 1. Схема итерационного взаимодействия транспортной модели и модели ПОЛИЦЕНТР

Источник: данные авторов.

В свою очередь, модель ПОЛИЦЕНТР передает транспортной модели следующие результаты своей работы:

5) данные об изменении численности населения и числа рабочих мест в каждом районе, полученные в результате оптимизации (см. разделы 3 и 4).

Эти количественные изменения *оптимальны*, так как вычисляются по оптимизирующим формулам, полученным согласно *методологии математического анализа*; эта методология применяется к компонентам критерия оптимальности путем их дифференцирования и расчета координат градиента, указывающего направление оптимального развития в пространстве моделируемых изменений численности населения и числа рабочих мест в каждом районе. Точки этого пространства соответствуют различным состояниям ФПС города.

Обмен данными происходит итерационно (рис. 1). Одна итерация — один запуск транспортной модели плюс основанные на ее результатах расчеты изменений (указанных в п. 5) по модели ПОЛИЦЕНТР. При оптимизации делается несколько итераций, каждая из которых незначительно меняет ФПС. Состояние города, исходное для первой итерации, упомянуто в п. 3. Затем для каждой следующей итерации исходное состояние берется по результатам оптимизации на предыдущей итерации. Результат, полученный на каждой итерации, рассматривается как один из генерируемых вариантов прогноза.

3. Оптимизирующая часть модели ПОЛИЦЕНТР. Оценка на уровне каждого расчетного района города

Критерий оптимальности состоит из следующих показателей *по каждому району*, отражающих условия транспортной доступности рабочих мест для населения:

Нормативный компонент этой конструкции, модель ПОЛИЦЕНТР, рассматривается более подробно, так как именно эту модель (а не транспортную) мы разрабатываем. Помимо данных, нужных для оценки генерируемых вариантов по остроте социально-транспортной проблемы, поведенческий компонент готовит данные, необходимые для работы модели ПОЛИЦЕНТР при создании таких вариантов в процессе оптимизации.

2. Обмен данными (на примере модели Московской агломерации)

При взаимодействии с транспортной моделью Москвы и Московской области модель ПОЛИЦЕНТР использует следующие результаты работы этой транспортной модели:

1) для каждой пары расчетных районов модели (выезд-въезд) — величина корреспонденции (имеется около 2000 районов, то есть около 4 млн пар)¹⁸;

2) время поездки из одного района в другой — также для каждой пары районов с учетом замедления движения на перегруженных элементах транспортной сети.

Помимо этих данных в модели ПОЛИЦЕНТР используется следующая информация:

3) данные о численности населения и числе рабочих мест в каждом районе в исходном для моделирования состоянии города (для Москвы — один из двух базовых прогнозов, см. введение, а также разделы 6 и 7);

4) ограничения, накладываемые на моделируемые изменения населения и рабочих мест в каждом районе (см. раздел 5).

¹⁸ Величина корреспонденции из района А в район В — количество пассажиров, перемещающихся в утренний час пик из района А в район В.

- 1) связность с населением, то есть сумма численностей населения районов, из которых можно доехать в данный район за комфортное время, ограниченное, например, 45 минутами¹⁹;
- 2) связность с местами приложения труда (связность МПТ), то есть сумма численностей рабочих мест в районах, в которые можно доехать из данного района за такое же время;
- 3) прямая обеспеченность, то есть обеспеченность населения района рабочими местами, доступными для него с комфортным временем поездки. Это приходится на одного среднестатистического жителя данного района число рабочих мест, доступных для него с комфортным временем поездки *с учетом населения других районов*, из которых с таким же временем доступны хотя бы некоторые из тех же рабочих мест, поскольку пропорциональная населению часть таких мест должна приходиться и на жителей указанных «других районов»;
- 4) обратная обеспеченность, то есть обеспеченность рабочих мест населением, для которого эти места доступны с таким же временем (подробный комментарий опускаем в силу его «симметричности» комментарию к прямой обеспеченности²⁰).

Очевидно, население любого расчетного района *заинтересовано в повышении* связности данного района с местами приложения труда (связности МПТ, см. п. 2) и прямой обеспеченности (п. 3), так как чем выше величина такой связности и обеспеченности, тем больше возможности выбора мест работы и обслуживания в пределах комфортного времени поездки для населения данного района и тем большее число людей, выезжающих из данного района для посещения соответствующих объектов, совершат поездку в пределах комфортного времени.

По той же причине для более успешного функционирования мест приложения труда и обслуживания в любом районе выгодно повышение связности данного района с населением (п. 1) и обратной обеспеченности (п. 4).

4. Оптимизирующая часть модели ПОЛИЦЕНТР. Оценка на уровне города в целом

При формировании критерия оптимальности²¹ используются следующие распределения по показателям транспортной доступности:

1. распределение населения по значениям связности МПТ;
2. распределение рабочих мест по значениям связности с населением;
3. распределение населения по значениям прямой обеспеченности;
4. распределение рабочих мест по значениям обратной обеспеченности.

Каждое распределение, будучи отображенным в виде гистограммы, показывает, *в каких условиях* (по связности МПТ, связности с населением и т.д.) *и сколько людей находится*. В случае распределения рабочих мест (п. 2 и 4) речь тоже идет о людях, но людях, работающих на этих местах или там же обслуживаемых. Особенностью модели ПОЛИЦЕНТР являются критерии оптимальности. Они ориентированы на улучшение транспортной доступности рабочих мест для людей, *находящихся в плохих условиях* по одному из показателей доступности из списка. В худших условиях находится население, соответствующее «левым» интервалам на гистограммах распределений 1 и 3 (рис. 2)²², и рабочие места в тех же интервалах гистограмм распределений 2 и 4.

Улучшение каждого из перечисленных распределений оценивается критерием оптимизации через среднее значение (например, через среднюю связность) и стандартное отклонение связности, обеспеченности.

¹⁹ Впервые этот метод оценки условий доступности (см. также п. 2) был предложен в 1966 году Б. Харрисом (Harris B.) [Harris, 1966], в некоторых русскоязычных публикациях – Б. Гаррис.

²⁰ В формуле расчета обеспеченности, как и в п. 3, использованы элементы алгоритма Г.В. Шелейховского, применяемого начиная с 1930-х годов при балансировке корреспонденций в транспортных моделях.

²¹ В разделе 3 мы сформировали наиболее детальные компоненты критерия, оценивающие каждый отдельно взятый район. Здесь мы продолжим формировать критерий, укрупняя детальные оценки из раздела 3 и получая на этой основе агрегированные показатели доступности на уровне города.

²² На рис. 2 принципы оценки распределений 1–4 рассматриваются на примере распределения 1. Для остальных трех распределений принципы те же.

Принципы оценки для компонентов критерия оптимизации:

- если среднее значение больше (красная точка правее: *рис. 2А, 2В*), то распределение лучше, так как меньше населения и рабочих мест находится в худших условиях;
- *стандартное отклонение меньше* (голубая стрелка короче: *рис. 2С, 2D*) — *распределение лучше* по аналогичной причине²³.

Благодаря такому набору компонентов критерия оптимальности модель ПОЛИЦЕНТР эффективно управляет распределением населения и рабочих мест по величине показателей транспортной доступности (двух связностей и двух обеспеченностей). Именно поэтому моделируемые изменения численности населения и рабочих мест в каждом районе *улучшают* доступность МПТ для людей, *нуждающихся* в улучшении больше других, а потому *максимизируют посещаемость* развиваемых объектов обслуживания, создавая тем самым *условия для развития полицентричности* города. Причем упомянутые изменения численности (как показано во введении и разделах 2 и 3) являются *оптимальными* в плане создания таких условий.

Согласно *основной гипотезе*, максимизация средних значений и минимизация стандартных отклонений для четырех перечисленных выше распределений устойчиво приводит к улучшению работы транспорта, в том числе к сокращению населением затрат времени на поездки. Некоторые результаты вычислительных экспериментов по проверке этой гипотезы приводятся в разделах 6 и 7.

Подтверждение гипотезы будет означать, что участвовавшие в расчетах варианты прогноза имеют ресурс ОРП, а модель ПОЛИЦЕНТР *справляется с ролью* генератора вариантов.

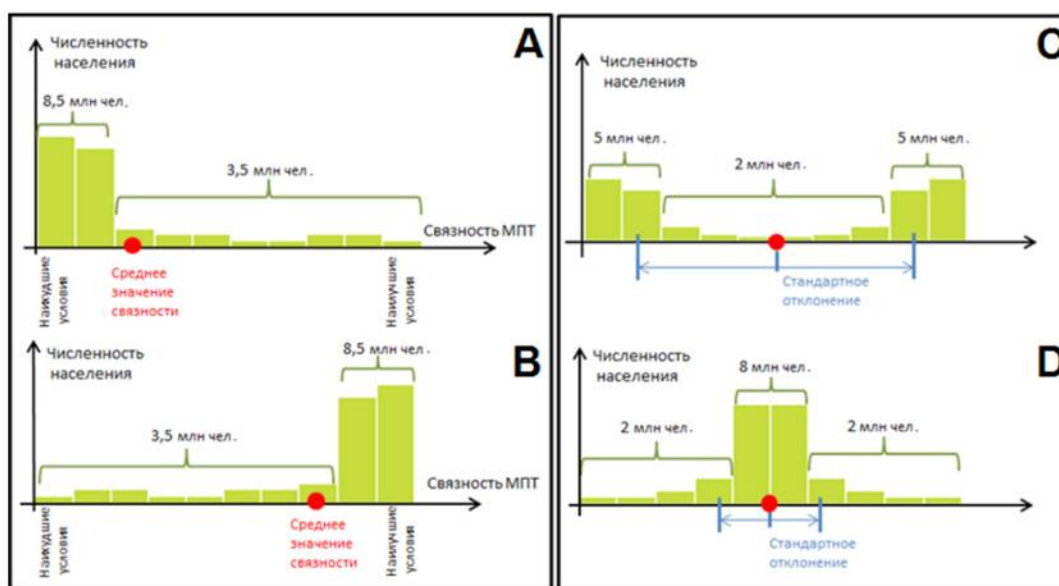


Рис. 2. Принципы оценки распределений

Источник: данные авторов.

5. Часть модели ПОЛИЦЕНТР, отвечающая за реалистичность моделируемых изменений

Реалистичность результатов моделирования обеспечивается за счет учета ограничений, накладываемых на моделируемые изменения численности населения и рабочих мест в каждом расчетном районе²⁴.

²³ Параметры гистограмм (*рис. 2*) специально подобраны для удобства объяснения этих принципов. Так, на *рис. 2А, 2В* средние значения различаются, а стандартные отклонения одинаковы. На *рис. 2С, 2D* — наоборот.

²⁴ Ограничениями описывается наличие резервов (в части возможностей сноса, строительства, реконструкции и перепрофилирования застройки), позволяющих изменять размещение населения и МПТ. Если такие резервы в достаточном количестве расположены в выгодных по доступности местах, то оптимизация выявит ресурс ОРП с большей вероятностью.

Имеет смысл учитывать ограничения следующих типов.

Первый тип. Ограничения для районов, где есть площадки с определенными границами, допускающие изменение застройки, причем одни из них предназначены преимущественно для размещения жилья, а другие — для рабочих мест. Если каким-то из площадок в результате оптимизации позволено оказаться не полностью застроенными, то в таких районах могут быть заданы ограничивающие параметры:

- минимальная и максимальная численность населения;
- аналогичные параметры для численности рабочих мест.

Подчеркнем: этот тип ограничений предполагает, что в любом районе оптимизируемые изменения численности населения и числа рабочих мест *независимы* друг от друга. То есть какой бы ни оказалась в результате моделирования численность населения в районе — минимальной, максимальной или любой другой в промежутке между ними, — независимо от этого количество рабочих мест в том же районе может оказаться как минимальным, так и максимальным или любым другим в промежутке между ними.

Второй тип. Если есть возможность передвигать границу, разделяющую две смежные площадки (преимущественно жилого и нежилого назначения), то территории жилой застройки смогут увеличиваться за счет нежилых территорий, и наоборот. Тогда ограничивающим параметром для района может стать *суммарная плотность застройки* (жилой плюс нежилой). Причем так, что даже при максимальной плотности есть возможность, скажем, увеличить население района за счет сокращения рабочих мест, но не снижая плотность застройки. Или, наоборот, увеличить количество рабочих мест за счет снижения численности населения. Этот тип ограничений предполагает *зависимость* друг от друга оптимизируемых изменений населения и рабочих мест. Зависимость проявляется в любом районе при достижении в нем максимально допустимой плотности застройки.

Третий тип. В случаях, когда нет возможности подготовить данные по ограничениям достаточно корректно, можно *имитировать действие ограничений*, например, следующим образом:

- выделяются районы, в которых возможно изменение (положительное или отрицательное)²⁵ численности населения и (или) рабочих мест;
- вычисленный в каждом районе по оптимизирующим формулам, прирост (+/-) населения завьшается по абсолютной величине в районах, где велика исходная численность населения, и занижается там, где эта численность мала, в предположении, что в районах, где, например, много жилья, велика вероятность больших объемов сноса, нового строительства жилого фонда, а значит, велика вероятность больших изменений численности населения. Аналогичный принцип, имитирующий влияние ограничений на величину прироста, используется и для рабочих мест.

Имитация ограничений целесообразна в двух случаях. При долгосрочном прогнозировании, когда увеличивается неопределенность будущего, или при пилотном характере исследования, в том числе при экспериментальном использовании модели.

6. Вычислительные эксперименты

При разработке данной версии модели ПОЛИЦЕНТР (как генератора вариантов для методики, указанной во введении) проводились вычислительные эксперименты для решения двух задач.

1) Для проверки основной гипотезы (см. раздел 4). Если гипотеза подтверждается для какой-то итерации или для группы итераций, последовательно выполненных с помощью модели ПОЛИЦЕНТР, то состояния города, участвовавшие в итерациях, имеют исследуемый ресурс, а модель ПОЛИЦЕНТР способна генерировать соответствующие варианты.

2) С целью исследования роли ограничений в процессе моделирования, анализа влияния их «жесткости» на исчерпаемость и наличие ресурса ОРП.

Результаты экспериментов приводятся в четырех подразделах. Подразделы 6.1–6.3 посвящены экспериментам на основе данных по Москве и Московской области. Подраздел 6.4 —

²⁵ Изменение, положительное или отрицательное, — это увеличение или уменьшение числа населения и (или) рабочих мест. Ниже будет использоваться также термин «прирост (+/-)» или «прирост».

по Казани и Севастополю. Эксперименты, связанные с Москвой, выполнены с большей основательностью. Здесь результаты анализа подтверждены более подробной статистикой.

Рассматриваемые в данном разделе эксперименты основаны на имитации действия ограничений (см. раздел 5, «третий тип»). Это простейший способ варьирования ограничений с целью получения статистики.

В подразделах 6.1–6.3 исходное распределение населения и МПТ Москвы по расчетным районам взято согласно базовому прогнозу, основанному на утвержденных (до 2014 года) проектах планировки, разрешениях на строительство, ГПЗУ и т.д.

6.1. Условные обозначения, используемые при описании результатов вычислительных экспериментов по Москве и Московской области

1) Терминами, приведенными на рис. 3, описываются оценки затрат времени на поездки: средние продолжительности поездок, сгруппированных по направлениям и зонам, в том числе:

- средние величины времени *центростремительных* поездок между следующими зонами отправления-прибытия (выезда-въезда): Obl-Cen, Tin-Cen, Obl-Bub, Tin-Bub, Bub-Cen (модель улучшает прежде всего именно эти величины времени как наиболее критичные, иногда за счет ухудшения остальных показателей времени);
- средние величины времени *разнонаправленных* поездок: Agl-Agl, Mos-Mos, Bub-Bub (их нужно контролировать, чтобы баланс улучшений/ухудшений не менялся к худшему).

2) Моделируемые изменения численности населения и числа рабочих мест в каждом районе обозначаются во всех вычислительных экспериментах одинаково, в том числе:

- по населению — «прирост Popul»;
- по МПТ — «прирост Work» в каждом расчетном районе, вычисленный при моделировании в течение одной или нескольких итераций (например, прирост «Popul_6_0» — разность между численностью населения в характеризуемом районе на 6-й итерации и той же численностью в «нулевом» состоянии города, то есть перед 1-й итерацией).



Рис. 3. Условные обозначения

Источник: данные авторов.

6.2. Результаты вычислительных экспериментов по Москве и Московской области (основной вариант ограничений)

По основному варианту были разрешены изменения численности населения и числа рабочих мест только в расчетных районах зоны BUB (периферийные округа старой Москвы). Было выполнено 6 итераций, это 6 вариантов прогноза. Некоторые результаты расчетов показаны на рисунках:

- Рис. 4: прирост численности населения (рис. 4A, 4B) и рабочих мест (рис. 4C, 4D), в том числе прирост на первых двух итерациях (рис. 4A и 4C) и на всех шести итерациях суммарно (рис. 4B, 4D).

• Рис. 5: динамика величины критерия оптимизации (ось X на всех графиках) и нескольких средних величин времени выезда-въезда центростремительных поездок (ось Y) — на каждом графике какое-то одно среднее время. Выделенные и пронумерованные на всех графиках точки (0, 1...6) обозначают семь состояний города: 0 — состояние, исходное при моделировании, 1–6 — варианты прогноза, полученные при помощи расчета на итерациях с номерами 1–6 соответственно.

- Рис. 6: динамика величины критерия оптимизации и трех средних времен разнонаправленных поездок. Смысл координатных осей и цифр на графике тот же, что на рис. 5.

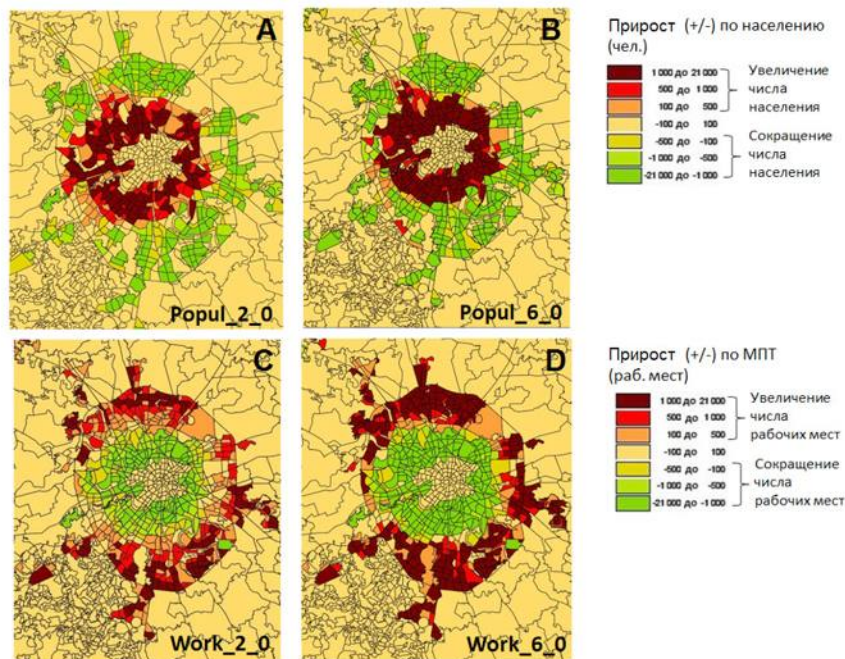


Рис. 4. Прирост (+/-) населения и рабочих мест с учетом ограничений по основному варианту

Источник: данные авторов.

Комментарии к графикам на рис. 5 и 6.

1) По мере выполнения итераций величина критерия убывает, что означает устойчивое расширение возможностей комфортного выбора МПТ и мест обслуживания населения. В основном данное улучшение касается людей, нуждающихся в нем больше других. Это способствует максимизации посещаемости развиваемых (на периферии) объектов обслуживания, создавая тем самым оптимальные условия развития полицентричности.

2) На всех графиках исходное состояние города имеет среднее время больше (хуже), чем на 6-й итерации. То есть при оптимизации наблюдается общая тенденция улучшения (сокращения) всех контролируемых величин времени. Это подтверждает основную гипотезу, свидетельствуя о наличии ресурса ОРП у соответствующих состояний города, а также об эффективной работе модели ПОЛИЦЕНТР как генератора вариантов.

3) Однако есть итерации, на которых некоторые значения времени ухудшаются. Для величин времени центростремительных поездок это три исключительных случая. Время Tin-Cen увеличивается на 3-й итерации, а время Obl-Cen — на 4-й и 6-й итерациях. Вдобавок все три показателя времени разнонаправленных поездок увеличиваются на тех же 4-й и 6-й итерациях. Это еще шесть случаев. Ухудшения можно интерпретировать как признаки исчерпаемости ресурса ОРП.

4) Чтобы получить представление о статистике подтверждений основной гипотезы, можно условно считать начальной точкой оптимизации не только точку 0, но также и любую другую точку, кроме точки 6. В качестве конечной точки может выбираться любая, чей номер больше, чем у выбранной начальной точки. Каждая пара точек условного начала и окончания оптимизации будет характеризоваться либо улучшением (подтверждением гипотезы), либо ухудшением среднего времени.

5) Согласно статистике, полученной на графиках, доля случаев, в которых основная гипотеза подтверждается, составила 96,2% для центростремительных и 77,8% для разнонаправленных поездок. То есть алгоритм в первую очередь улучшает показатели времени центростремительных поездок (как самые критичные), иногда за счет ухудшения менее критичных значений времени.

6) В динамике признаков исчерпаемости ресурса ОРП заметны негативные тенденции. Так, по мере выполнения итераций:

- величина критерия оптимизации улучшается все меньше и меньше;
- учащаются случаи ухудшения значений времени поездки;
- показатели времени разнонаправленных поездок на трех последних итерациях (рис. 6) вышли на плато пилообразной кривой с амплитудой примерно 0,1 минуты и едва заметной тенденцией к ухудшению времени Agl-Agl.

Возможно, наши итерации уже близко подошли к тому состоянию города, в котором ресурс ОРП будет исчерпан не только для разнонаправленных, но и для центростремительных поездок.

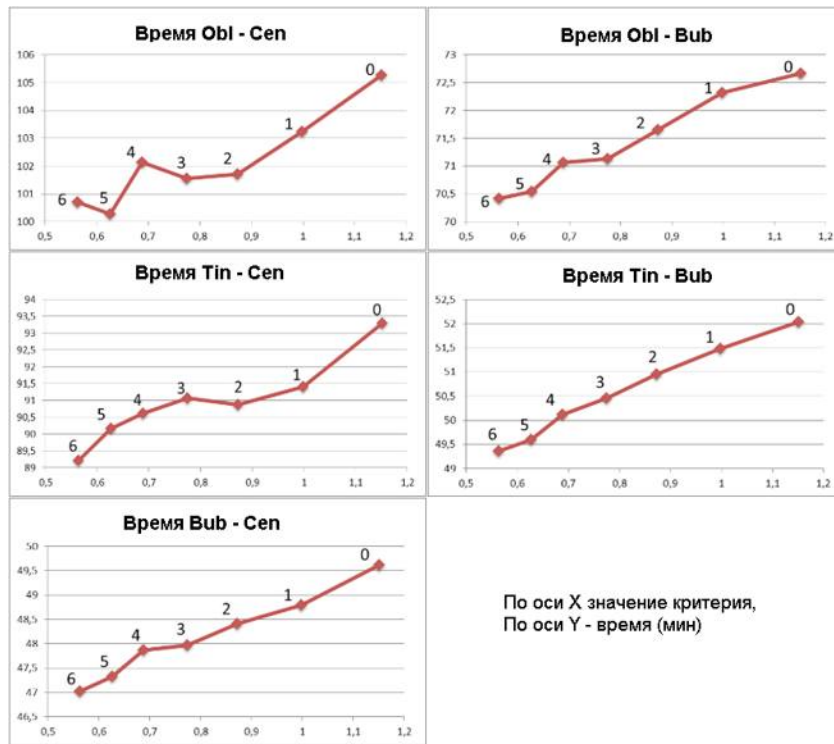


Рис. 5. Изменения средних значений времени выезда-въезда (центростремительные поездки)

Источник: данные авторов.

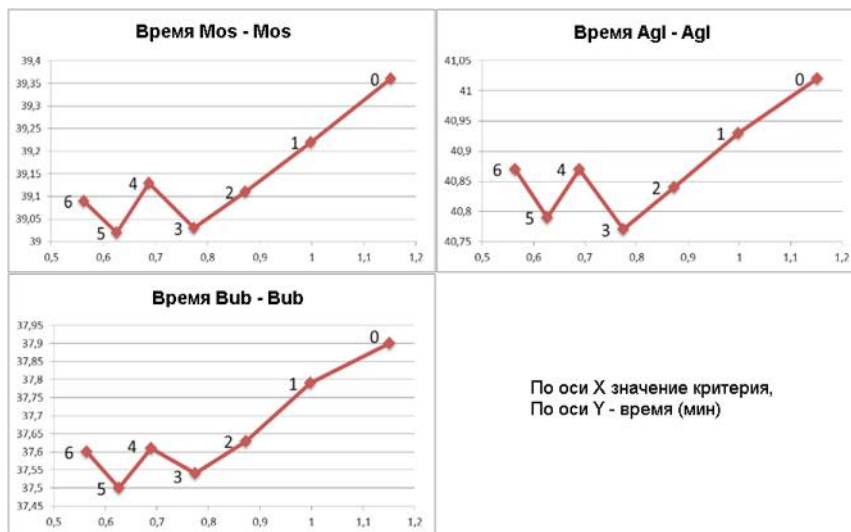


Рис. 6. Изменения средних значений времени выезда-въезда (разнонаправленные поездки)

Источник: данные авторов.

6.3. Результаты вычислительных экспериментов по Москве и Московской области (6 дополнительных вариантов ограничений)

В экспериментах по дополнительным вариантам использовалось то же исходное состояние города, что и для основного варианта ограничений. Варианты различаются только ограничениями, которые заданы следующим образом. В каждой из указанных ниже трех пар дополнительных вариантов зона BUB разделена на две сопоставимые по площади части (на две «половины»):

- в паре Inside-Outside — внутренняя и внешняя части зоны BUB; эту пару частей можно также назвать срединная и периферийная зоны старой Москвы;
- в паре Left-Right — западная и восточная части;
- в паре Cross1-Cross2 — часть, состоящая из периферийных округов старой Москвы с четными и нечетными номерами административных округов.

При этом в каждом из шести дополнительных вариантов были разрешены изменения численности населения и рабочих мест только в какой-то одной из указанных половин зоны BUB. Для каждого варианта было выполнено по две итерации. Некоторые результаты расчетов показаны на рис. 7–10.

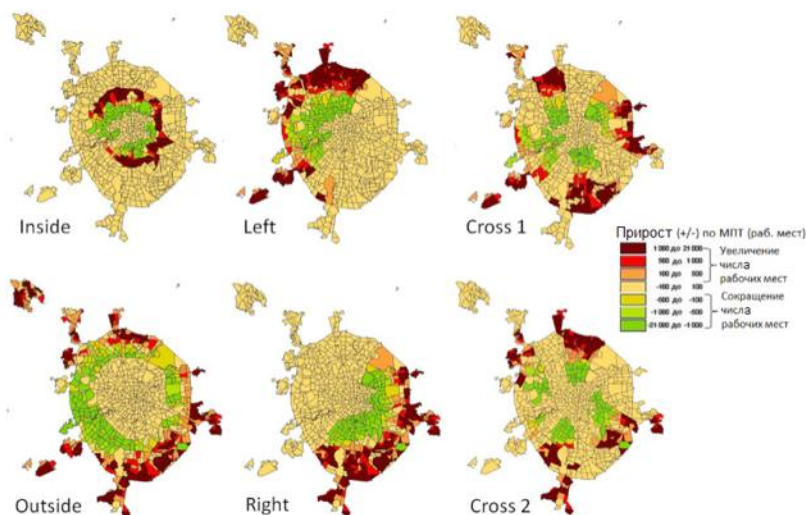


Рис. 7. Прирост по местам приложения труда (дополнительные варианты)

Источник: данные авторов.

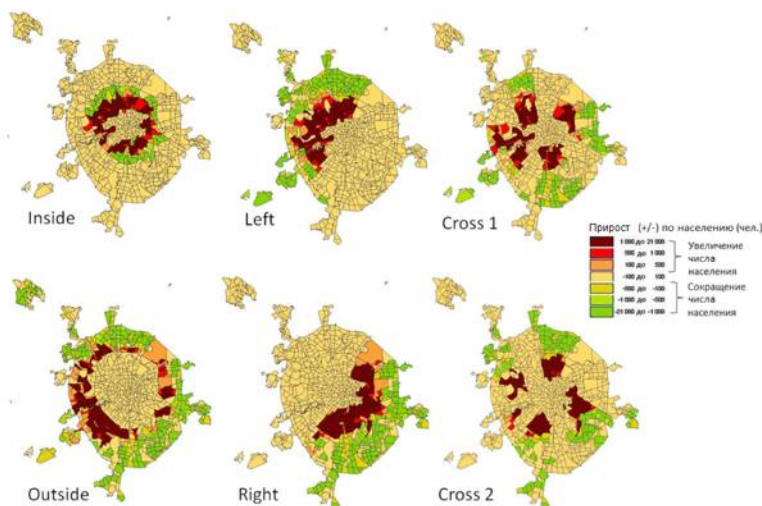


Рис. 8. Прирост по населению (дополнительные варианты)

Источник: данные авторов.

Комментарии к графикам на *рис. 9 и 10*.

1) На трех парах дополнительных вариантов ограничений подтверждаются следующие выводы, сформулированные в комментариях к основному варианту ограничений:

- устойчивое убывание значений критерия по мере выполнения итераций; ограничения стали жестче, но генератор вариантов максимизирует посещаемость развиваемых объектов обслуживания почти так же успешно, как при основном варианте ограничений; косвенное подтверждение тому — величина критерия в конце второй итерации для большинства дополнительных вариантов близка к основному варианту; только у двух вариантов (Inside и Outside) убывание критерия хотя и устойчивое, но заметно меньше;
- общая тенденция улучшения всех контролируемых показателей времени (с редкими ухудшениями некоторых показателей на некоторых итерациях); основная гипотеза снова подтверждается.

2) По сравнению с основным вариантом ограничений любой из шести дополнительных вариантов сдерживает возможность оптимизации существенно сильнее. Поэтому ухудшение некоторых средних показателей времени начинает проявляться уже на первых двух итерациях (в отличие от основного варианта, по которому до третьей итерации ухудшений не было). То есть признаки исчерпаемости ресурса ОРП здесь проявляются раньше.

3) Согласно полученной статистике, доля случаев, в которых основная гипотеза подтверждается, составила 96,7% для центростремительных поездок и 79,6% для разнонаправленных поездок.

4) Эти количественные оценки (доли) почти совпадают с аналогичными оценками, приведенными в подразделе 6.2. Однако корректно они могут сравниваться только с первыми двумя итерациями основного варианта, на которых доля случаев подтверждения гипотезы составляет 100%.

5) Среди дополнительных вариантов наименьшая устойчивость и предсказуемость результатов моделирования проявляется в паре Inside-Outside. То есть ужесточение или ослабление ограничений на периферии старой Москвы при обратной тенденции в срединной зоне города может влиять на эффективность результатов моделирования и на исчерпаемость ресурса ОРП существенно сильнее, чем варьирование ограничений тенденциозно по секторам²⁶ территории города.

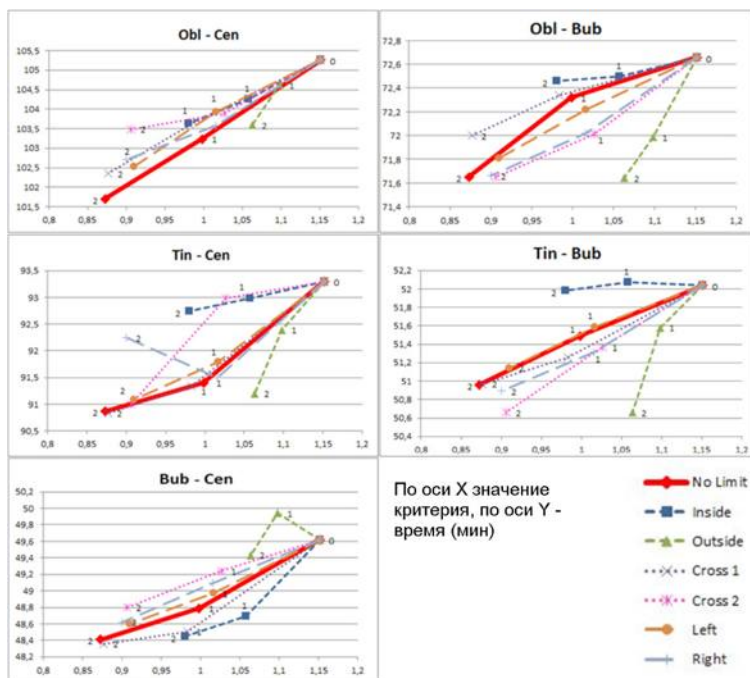


Рис. 9. Изменения средних значений времени выезда-въезда с учетом ограничений по дополнительным вариантам (центростремительные поездки)

Источник: данные авторов.

Примечание. Для сравнения приводится фрагмент графика (первые две итерации) по основному варианту ограничений (No Limit).

²⁶ Мы говорим о варьировании по секторам, так как, исключая варианты ограничений Inside и Outside, опирающиеся на «кольцевое» разбиение зоны BUB, каждый из остальных вариантов определяется набором административных округов, в которых разрешены изменения. То есть варианты ограничений Left, Right, Cross1 и Cross2 опираются на «секторное» разбиение зоны BUB.

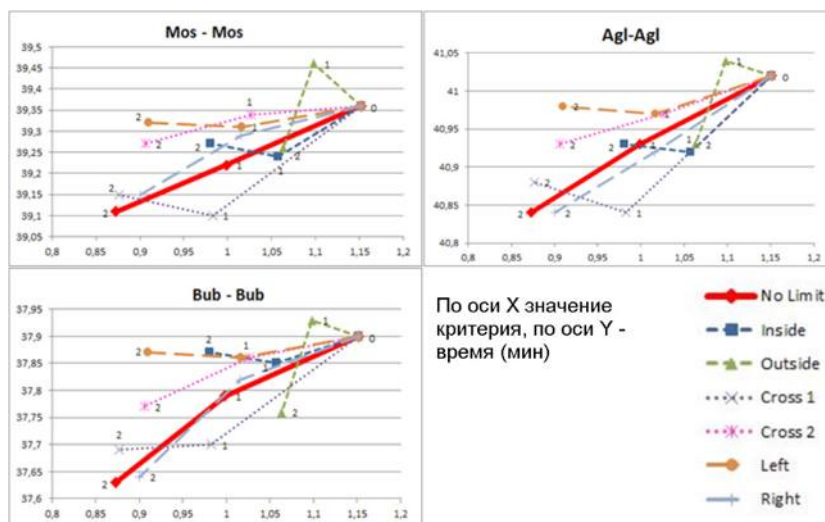


Рис. 10. Изменения средних значений времени выезда-въезда с учетом ограничений по дополнительным вариантам (разнонаправленные поездки)

Источник: данные авторов.

6.4. Результаты вычислительных экспериментов по Казани и Севастополю

В экспериментах по Казани и Севастополю изменения численности населения и рабочих мест были разрешены во всех расчетных районах. Действие ограничений имитировалось так же, как указано в «третьем типе» раздела 5. По каждому городу было проведено по шесть итераций. Некоторые результаты расчетов показаны на рис. 11–15.

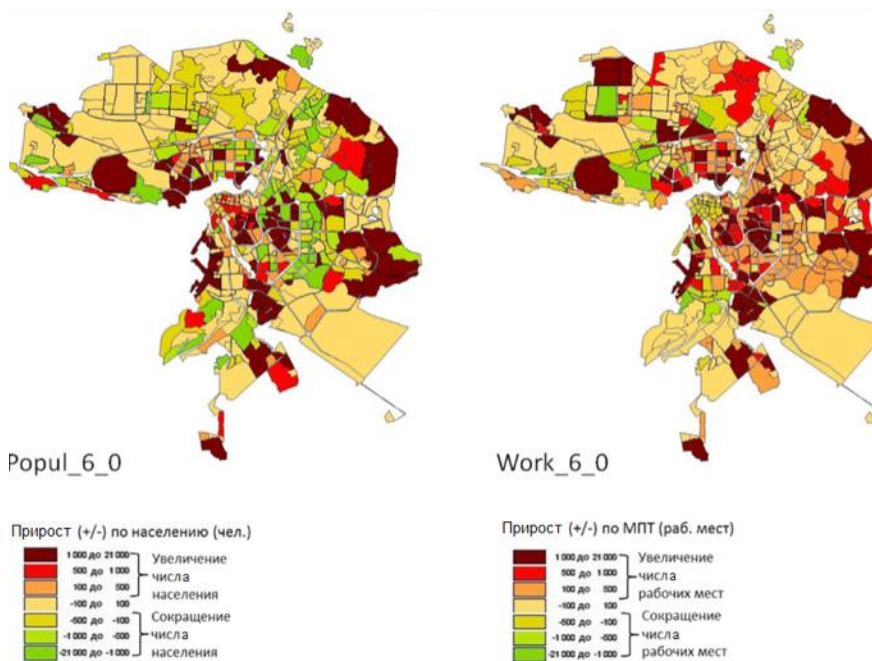


Рис. 11. Казань. Прирост по населению и МПТ

Источник: данные авторов.

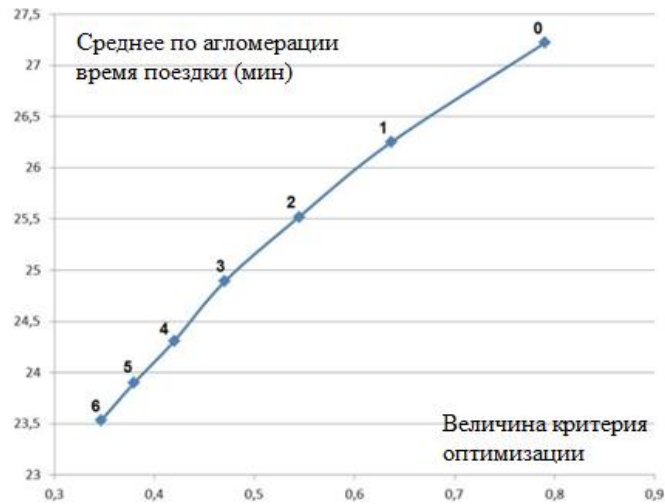


Рис. 12. Казань. Изменение среднего времени поездок (ось Y) в зависимости от величины критерия (ось X)

Источник: данные авторов.

Комментарии к графикам на рис. 12 и 14.

1) На всех выполненных для Казани итерациях величина критерия оптимизации убывает так же, как и среднее время поездки. Это устойчивое улучшение. Доля случаев, подтверждающих основную гипотезу, составляет 100%. Признаков исчерпаемости ресурса ОРП нет (кроме «постепенного замедления» процесса улучшений обоих показателей).

2) На графике по Севастополю, как и в приведенных выше результатах по Москве и Казани, видна общая тенденция убывания (улучшения) одновременно и величины критерия оптимизации, и величины среднего времени поездки. Однако критерий не улучшается на четвертой итерации²⁷, а среднее время — на первой. Результаты обеих итераций можно считать признаками исчерпаемости ресурса ОРП. Доля случаев, подтверждающих основную гипотезу, составляет 90,5%.

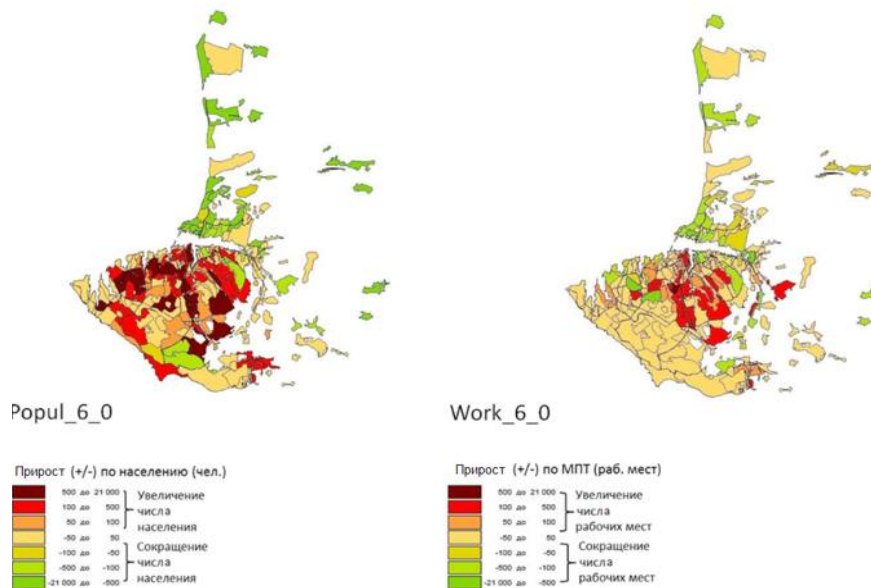


Рис. 13. Севастополь. Прирост по населению и МПТ

Источник: данные авторов.

²⁷ Это первый случай, когда на какой-либо итерации алгоритм не может улучшить значение критерия.

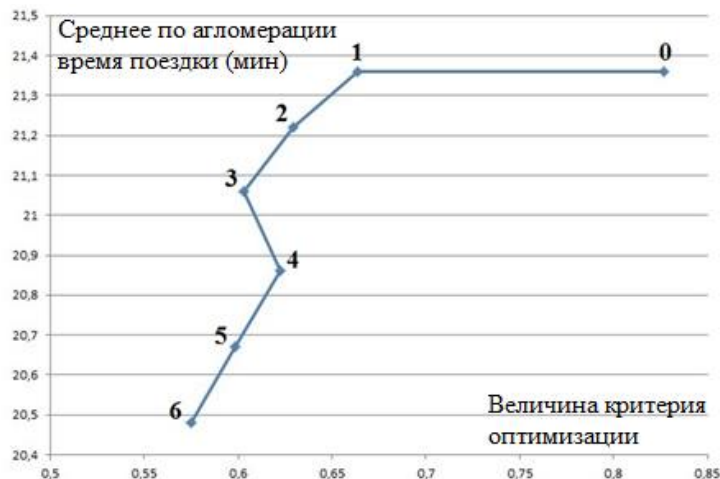


Рис. 14. Севастополь. Изменения среднего времени поездок (ось Y) в зависимости от величины критерия (ось X)

Источник: данные авторов.

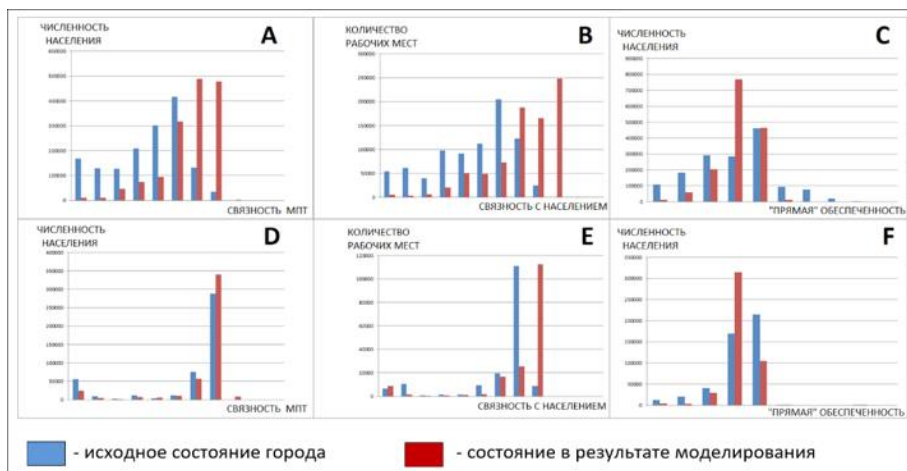


Рис. 15. Распределение населения и рабочих мест (МПП) по значениям связности и обеспеченности

Источник: данные авторов.

Примечание.

- А) Распределение населения по значениям связности МПП (Казань)
- В) Распределение рабочих мест по значениям связности с населением (Казань)
- С) Распределение населения по значениям прямой обеспеченности (Казань)
- Д) Распределение населения по значениям связности МПП (Севастополь)
- Е) Распределение рабочих мест по значениям связности с населением (Севастополь)
- Ф) Распределение населения по значениям прямой обеспеченности (Севастополь).

Комментарии к гистограммам на рис. 15.

1) Гистограммы распределения населения и рабочих мест по значениям связности и обеспеченности показывают, в каких условиях сколько людей находится. Оценка условий транспортной доступности (две связности и прямая обеспеченность) — ось X. По оси Y — число рабочих мест или численность населения, попадающего в каждую градацию условий доступности.

2) Улучшение условий проявляется, например, в том, что левые столбцы гистограмм (плохие условия доступности) в результате моделирования уменьшаются²⁸, так как население и рабочие места перемещаются из них в столбцы, находящиеся на гистограмме правее, где усло-

²⁸ На рис. 15 все шесть графиков (А–F) отображают два состояния города. Для этого каждый столбец любой гистограммы показан парой примыкающих друг к другу прямоугольников: «голубой» — исходное состояние

вия доступности лучше, тогда эти столбцы растут. Частично это происходит за счет того, что в процессе оптимизации население и МПТ «переселяются» из районов с низкими связностями и обеспеченностями в районы с высокими значениями этих показателей. Но это только часть процесса, поскольку благодаря такому «переселению» у многих районов изменяются значения связностей и обеспеченностей. Если эти значения увеличиваются, то соответствующие районы «переходят» из левых столбцов в правые вместе со своим населением и рабочими местами, *не участвовавшими в упомянутом «переселении».*

3) На гистограммах связности с МПТ и с населением (*рис. 15A, 15B, 15D, 15E*) увеличиваются только правые столбцы (лучшие условия доступности), это явное улучшение среднего значения обеих связностей при почти полном исчезновении людей и рабочих мест, находившихся в худших условиях по связности. На гистограммах обеспеченности (*рис. 15C, 15F*) заметно явное улучшение стандартного отклонения — увеличение численности населения происходит в столбцах, расположенных в срединной части графика, а самые правые столбцы (лучшие условия) уменьшаются вместе с левыми (плохие условия). То есть *для части населения, имевшего лучшие условия обеспеченности, эти условия ухудшаются, но не критично, и лишь приближаются к среднестатистическим.* Действует следующий механизм. Пусть максимальные значения прямой обеспеченности (правые столбцы) географически локализованы преимущественно в центральной зоне города. Тогда там же (примерно в тех же районах) локализованы минимальные значения обратной обеспеченности, при которой на одно рабочее место в обслуживании приходится меньше всего клиентов, способных прибыть к месту обслуживания за комфортное время. Чтобы улучшить посещаемость соответствующих объектов, нужно увеличить их обратную обеспеченность. Одновременно в центральной зоне города будет снижаться прямая обеспеченность. То есть изменение в правой части гистограммы — снижение (до средних значений) величины прямой обеспеченности для людей, обеспеченных обслуживанием лучше других, *увеличит посещаемость* обслуживающих объектов *в центральных районах города*²⁹. В свою очередь, позитивные изменения в левой части гистограмм прямой обеспеченности для людей, нуждающихся в улучшении больше других, *максимизируют*, как указывалось выше, *посещаемость* объектов обслуживания, развиваемых на периферии.

4) Указанные улучшения распределений населения и рабочих мест по значениям связности и обеспеченности приводят к сокращению значений времени поездки населения. Например, для Казани среднее время улучшается почти на 4 минуты, а общие затраты времени населения на поездки в будний день сокращаются на 140 000 человеко-часов.

7. Тестовый расчет по Москве на реалистичных ограничениях по каждому району

В разделе 5 предложены типы ограничений, накладываемых на моделируемые изменения численности населения и рабочих мест в каждом расчетном районе. Это три типа (порядок перечисления соответствует порядку в разделе 5):

1) Ограничение, при котором приросты (+/-) по населению и по рабочим местам в любом районе *не зависят друг от друга*, но каждый из них должен находиться в заданном интервале значений от минимума до максимума. Данный тип задействован в настоящем разделе.

2) *Зависимые ограничения*, когда население и рабочие места могут вытеснять друг друга из района при достижении максимальной плотности застройки. Алгоритм учета таких ограничений разрабатывается.

3) Основанная на простейшей вероятностной гипотезе *имитация действия ограничений*. Данный тип задействован в разделе 6.

столбца, «красный» — результат моделирования. Если «голубой» выше «красного», то столбец уменьшается. Если наоборот — растет.

29 Улучшения распределений на *рис. 15* существенны и очень заметны на графиках. Но нужно сказать, что изменения, происходящие с аналогичными гистограммами в результате моделирования на других данных, не всегда бывают столь же бесспорно позитивны. Так, на данных по Москве одновременное улучшение всех четырех распределений часто оказывается невозможным. По-видимому, это связано с жесткостью ограничений, накладываемых на моделируемые изменения в районах исторического центра города. Очевидно, это является признаком исчерпаемости ресурса ОРП.

7.1. Исходные данные

Чтобы проверить наличие ресурса ОРП города и испытать модель ПОЛИЦЕНТР в роли генератора вариантов на более реалистичных, чем в разделе 6, ограничениях, в составе работ по мониторингу реализации Генерального плана Москвы были подготовлены данные об ограничениях в каждом районе. Источник информации — утвержденные в установленном порядке Правила землепользования и застройки города Москвы (ПЗЗ). Подготовленная информация — это ограничения первого типа (см. п. 1 в начале данного раздела и раздел 5), параметры которых вычислены в предположении о безусловном выполнении градостроительных регламентов, установленных для территориальных зон в составе ПЗЗ по состоянию на январь 2019 года.

Если же ориентировать расчет на изменение ПЗЗ, например, в части видов разрешенного использования или границ территориальных зон³⁰, то здесь нужна система ограничений второго типа. Это одно из направлений развития методики и модели ПОЛИЦЕНТР.

По исходной информации данный расчет отличается от экспериментов из раздела 6 не только учитываемыми ограничениями. Отличается и исходное для моделирования распределение населения и рабочих мест по расчетным районам. Например, исходная численность населения в каждом районе рассчитана как полусумма существующей и максимальной (согласно ПЗЗ) численностей населения в том же районе. Количество мест приложения труда — тоже полусумма существующего и максимального (по ПЗЗ) количества рабочих мест³¹.

Рассчитанное таким способом исходное для моделирования состояние города может рассматриваться как прогноз негативных тенденций развития, проявляющихся, например, на территории ТиНАО, где численность населения по данному негативному варианту прогноза растет быстрее, а количество мест приложения труда — медленнее, чем планировалось³². И теперь то состояние города, которое *может получиться* в результате негативной тенденции, мы хотим улучшить с помощью модели ПОЛИЦЕНТР, не нарушая при этом градостроительные регламенты, установленные в ПЗЗ.

Касательно ограничений важно, что в рамках экспериментов из раздела 6 не допускались изменения численности населения и рабочих мест на территории ЦАО и ТиНАО. В данном же расчете это ограничение снято. Изменения запрещены только там, где это противоречит регламентам ПЗЗ.

7.2. Результаты тестового расчета с ограничениями из ПЗЗ «после реализации негативного прогноза»

На указанных исходных данных было выполнено шесть итераций. Графики, показывающие динамику изменения средних значений времени поездки и величин критерия оптимизации по мере выполнения итераций, приводятся на *рис. 16–18*. Обозначения те же, что в разделе 6.

30 Речь идет о разработке таких изменений в ПЗЗ, которые заставят субъектов градостроительной деятельности, выполняя требования регламентов ПЗЗ, тем самым улучшать для населения транспортную доступность мест приложения труда и обслуживания.

31 Полусуммы взяты исходя из предположения, что регламенты ПЗЗ, «пересчитанные» в максимально возможные приросты численности населения и числа МПТ, в какой-то момент одновременно во всех районах будут исчерпаны примерно на 50%.

32 По А.Э. Гутнову, этот негативный сценарий развития ТиНАО соответствует фазе «территориального роста» в процессе эволюционного развития ГС, характеризуемого циклическим чередованием двух фаз *рост* — *реорганизация*.

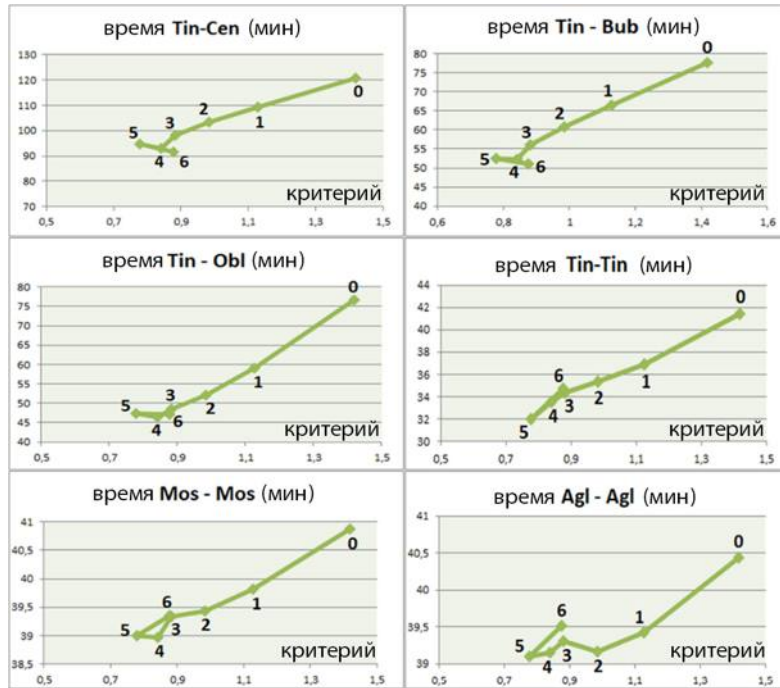
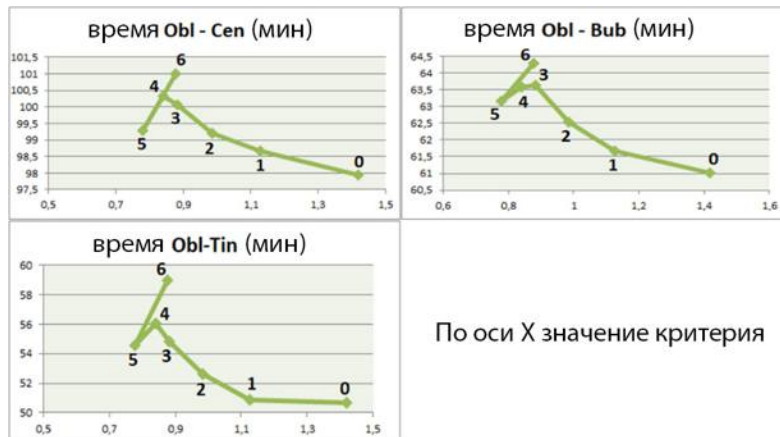


Рис. 16. Группа 1 (устойчивое улучшение)

Источник: данные авторов.



По оси X значение критерия

Рис. 17. Группа 2 (устойчивое ухудшение)

Источник: данные авторов.

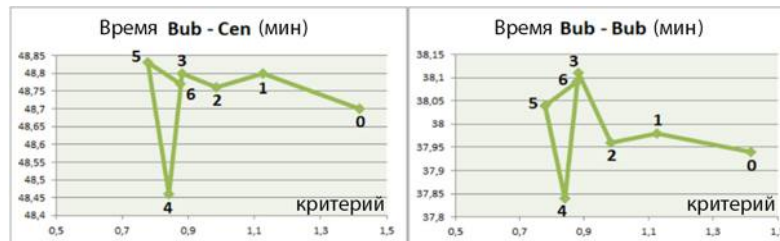


Рис. 18. Группа 3 (ухудшение с коротким, но явным улучшением на четвертой итерации)

Источник: данные авторов.

Комментарии к графикам на *рис. 16–18*.

1) Состав контролируемых показателей времени расширен по сравнению с разделом 6 за счет времени поездок, в которых ТиНАО является пунктом отправления или прибытия. Значимость этой территории повысилась, так как в разделе 6 территория ТиНАО оставалась слабо освоенной и потому не являлась значимой по количеству поездок.

2) По сравнению с экспериментами из раздела 6 здесь от итерации к итерации наблюдается более противоречивая динамика контролируемых показателей времени. С одной стороны, некоторые из них показывают скорее устойчивое ухудшение, чем улучшение (соответствующую группировку графиков см. на *рис. 16–18*), так что суммарная доля случаев, подтверждающих основную гипотезу, близка к 50%. Это гораздо хуже, чем в разделе 6. С другой стороны, например, время Tin-Cen уменьшается с двух часов до полутора, тогда как в разделе 6 все улучшения — в пределах 5 минут.

Для оценки столь противоречивых результатов моделирования необходимо *изучить и учесть значимость* тех улучшений, что дает первая группа показателей времени (*рис. 16*), и тех ухудшений, что дают вторая и третья группы (*рис. 17, 18*). Об этом — пункты 3 и 4.

3) Чем больше время поездки, тем оно критичнее, так как совершающие долгую поездку люди в большей степени нуждаются в улучшении ситуации. В приведенной таблице (*табл. 1*) контролируемые значения времени расположены по убыванию времени поездки в исходном состоянии города, то есть *по убыванию степени критичности*.

В трех столбцах в правой половине таблицы показано *изменение времени* поездок:

- за первые 4 итерации (суммарно — столбец 0–4);
- за первые 5 итераций (столбец 0–5);
- за все 6 итераций (столбец 0–6).

Изменение вычисляется как разность времени поездки в исходном состоянии города и времени, достигнутого в конце одной из последних итераций: четвертой, пятой или шестой. При разности больше нуля происходит сокращение, то есть улучшение времени поездки. Рассчитанные так же отрицательные числа означают ухудшение (увеличение) времени. Столбцы 0–4 и 0–5 включены в таблицу, так как для многих графиков либо после четвертой, либо после пятой итерации время оказывается лучше, чем после шестой итерации.

Можно ли считать скомпенсированными за счет улучшений, показанных на *рис. 16*, те ухудшения, что отображены на *рис. 17 и 18*? Сформулируем аргументы *в пользу ответа «да»*.

Таблица 1. Анализ изменения времени поездок в результате моделирования

	Направление поездки (выезд-въезд) для контролируемых показателей времени	Время поездки в исходном для модели состоянии города, мин.	Изменение времени поездки для следующих пар состояний города (начальное-конечное), мин.		
			0 - 4	0 - 5	0 - 6
1	Tin-Cen	120,85	27,9	26,02	29,21
2	Obl-Cen	97,95	-2,39	-1,33	-3,06
3	Tin-Bub	77,8	25,47	25,34	26,62
4	Tin-Obl	76,71	30,16	29,45	29,49
5	Obl-Bub	61,01	-2,58	-2,16	-3,28
6	Obl-Tin	50,7	-5,38	-3,89	-8,29
7	Bub-Cen	48,7	0,24	-0,13	-0,07
8	Tin-Tin	41,44	7,89	9,49	6,72
9	Mos-Mos	40,87	1,9	1,87	1,51
10	Agl-Agl	40,44	1,29	1,34	0,92
11	Bub-Bub	37,94	0,1	-0,1	-0,15

 - центростремительные поездки	 - ухудшение времени (изменение < 0)
 - разнонаправленные поездки	 - стабилизация (изменение = 0)
 - центробежные поездки	

Источник: данные авторов.

Во-первых, сравним попарно шесть самых критичных показателей времени (*табл. 1*, строки 1–6). В случае времени Tin-Cen (самое критичное из улучшающихся) и времени Obl-Cen (самое критичное из ухудшающихся), улучшение первого из них в минутах примерно в 10 раз больше, чем ухудшение второго в столбце 0–4, примерно в 20 раз больше в столбце 0–5 и снова примерно в 10 раз в столбце 0–6. Очевидно, в этой паре ухудшение менее критичного времени *компенсируется* в 10–20 раз более существенным улучшением более критичного времени. Так же сравним следующую по критичности пару показателей времени Tin-Bub (оно улучшается) и Obl-Bub (ухудшается). Здесь улучшение первого времени в 8–12 раз больше, чем ухудшение второго. Наконец, в последней паре времен Tin-Obl (улучшается) и Obl-Tin (ухудшается) улучшение примерно в 3,5–7,5 раза больше, чем ухудшение, притом что критичность самих этих значений времени меньше, чем критичность в двух предыдущих парах.

Так что снижение степени скомпенсированности (с 10–20 и 8–12 раз до 3,5–7,5 раза) не должно нас смущать. То есть во всех трех парах ухудшение менее

критичного времени безусловно *компенсируется* более существенным улучшением более критичного времени.

Во-вторых, как указывалось выше, оценить скомпенсированность ухудшений и улучшений времени поездки можно, контролируя средние значения времени *разнонаправленных* поездок. В *табл. 1* они находятся в строках 8–11. Время Tin-Tin улучшается на 6–10 минут, Mos-Mos — на 1,5–2 минуты, Agl-Agl — примерно на 1 минуту, а изменения времени Vub-Vub находятся в интервале от 9-секундного ухудшения до 6-секундного улучшения. Другими словами, все показатели времени разнонаправленных поездок, кроме времени Vub-Vub, улучшаются в несколько раз сильнее по сравнению с улучшениями аналогичных показателей времени в разделе 6, где ни одно из таких времен не улучшалось более чем на 0,5 минуты. В свою очередь, наименее критичное время Vub-Vub, по сути, не изменяется — так же, как и самое некритичное из центростремительных поездок время Vub-Cen. То есть в последних 5 строках *табл. 1*, как и в первых 6 строках, «плохое» *полностью компенсируется* «хорошим».

Таким образом, несмотря на выявленную в п. 2 противоречивость результатов тестового расчета, более детальный, чем в разделе 6, анализ этих результатов показал, что участвовавшие в расчете варианты развития Москвы *имеют ресурс ОРП*, а модель ПОЛИЦЕНТР *справляется с ролью* генератора соответствующих вариантов прогноза. Это подтверждено сопоставлением многих улучшений и ухудшений контролируемых показателей времени поездки, так как улучшения оказались в разы более значимыми по сравнению с ухудшениями.

Метод анализа, подтверждающий сформулированную в разделе 4 основную гипотезу, отличается от использованного в разделе 6 метода, что связано с упомянутой противоречивостью. Когда доля случаев, подтверждающих основную гипотезу, близка к 50%, такая статистика не позволяет подтвердить или опровергнуть гипотезу. Но величина этой доли, безусловно, *указывает на исчерпаемость* ресурса ОРП.

8. О прошлом и будущем рассматриваемой модели

Исследования коммуникативности города с помощью показателя связности и других количественных характеристик, построенных по аналогичным принципам, начались в Институте Генплана Москвы в середине 1970-х годов. Основоположителем этих исследований стал А.Э. Гутнов, возглавивший тогда один из научных отделов института.

Первые публикации, посвященные связности и этим исследованиям, по-видимому, относятся к 1979 году³³. Именно эти исследования коммуникативности города позволили коллективу отдела Гутнова (совместно со специалистами ВНИИСИ АН СССР)³⁴ создать несколько моделей города, основанных на связности и похожих показателях.

Среди таких моделей необходимо назвать модель Гутнова КАРКАС — ТКАНЬ [Гутнов, 1980; 1984; 1985]³⁵, Территориально-коммуникационную модель градостроительной системы О.А. Баевского [Баевский, 2001; 2016; Гостев, 2018], а также модель ПОЛИЦЕНТР, для которой в *табл. 2* приводится краткая характеристика всех публикаций. В них содержится описание всех предыдущих версий модели. Основное внимание в таблице уделено *особенностям* этих версий, отличающим их друг от друга и от других моделей, а также *проблемам использования* модели, побудившим авторов к разработке новых версий.

33 [Гутнов, Каверин, Лапшев, 1979; Каверин, Лапшев, 1979; Бутусов и др., 1979]. Авторы этих трех публикаций в то время были сотрудниками отдела под руководством Гутнова. Сам термин «связность» был предложен А.Э. Гутновым и П.И. Лапшевым. Благодаря работам первого, имевшим большой резонанс, термин вошел в урбанистику, но за пределами гутновского отдела применялся как синоним «коммуникативности» для обозначения направления исследований.

34 Специалисты Всесоюзного научно-исследовательского института системных исследований Академии Наук СССР (ныне — Институт системного анализа РАН) участвовали в упомянутых исследованиях под началом Ю.С. Попкова и Б.Л. Шмульяна (ВНИИСИ), создавая инструментарий математического, алгоритмического и программного обеспечения работ по договору о научно-техническом сотрудничестве с Институтом Генплана Москвы.

35 В рамках модели ведется анализ распределения территорий по значениям «структурно-функционального потенциала», предложенного Гутновым. Исследуется эволюционная динамика характеристик этого распределения. Главная задача модели — диагностирование смены фаз *территориальный рост* — *структурная реорганизация* в циклическом развитии градостроительной системы (ГС), в том числе прогноз моментов времени перехода ГС в очередную фазу.

Комментарии к материалам раздела.

1) Что касается особенностей модели ПОЛИЦЕНТР, необходимо подчеркнуть, что начиная с 1980-х годов мы не знаем других моделей, где стандартное отклонение характеристик доступности МПТ для населения использовалось бы как критерий (или компонент критерия) оптимальности.

2) Авторам статьи только в 2018 году представилась возможность исследовать наличие ресурса полицентричности, описанного во введении, для решения в Москве социально-транспортной проблемы, упомянутой там же. Данная статья — первая на эту тему. В предыдущих версиях модели ПОЛИЦЕНТР (до 2017 года) это было невозможно по причинам, приведенным в табл. 2 (см. проблемы использования версий 1–3). Например, прогноз остроты транспортной ситуации не получался из-за проблем 1 и 3, а примененное в разделах 6 и 7 варьирование ограничений не получалось из-за трудоемкости подготовки данных (проблемы 2 и 3).

3) По результатам анализа ресурса ОРП в разделах 6 и 7 авторы статьи надеются, что предложенная во введении схема исследования может быть доработана так, что позволит вести интересовавшее Гутнова диагностирование смены фаз циклического развития города, то есть позволит прогнозировать моменты времени, когда такая смена должна происходить. Очевидно, для этого потребуются применение упомянутых здесь моделей Гутнова и Баевского вместе с моделью ПОЛИЦЕНТР и транспортной моделью. Возможно, также потребуются какая-то модификация модели А.А. Высоковского.

Таблица 2. Все публикации по модели ПОЛИЦЕНТР (1983–2004 годы) и ее версиям (1983–2014 годы)

Публикации	Особенности соответствующих версий модели	Проблемы использования версий
[Каверин, 1983]	Здесь применительно к оценке и оптимизации размещения населения и МПТ с учётом их взаимной доступности сформулированы критерии оптимальности, способные управлять распределением населения по величине связности и ориентировать оптимизацию на улучшение наилучших (для населения) условий доступности МПТ. Для примера приводятся элементы математического обеспечения: критерий оптимальности – средняя связность с МПТ в обслуживании и стандартное отклонение; оптимизирующие формулы, обеспечивающие выбор районов, таких что при размещении в них центров обслуживания (то есть прироста МПТ) средняя связность и стандартное отклонение не ухудшаются. Обозначенный тем самым подход к оптимизации размещения ориентирует процесс на развитие полицентричности в городах, на решение социально-транспортной проблемы. До этого во всех подобных моделях в качестве критерия оптимальности традиционно выбиралось среднее (или суммарное) по городу значение одной из характеристик доступности. Например: - средние (или суммарные) затраты населения на передвижения [Лившиц, 1979]; в таких моделях, помимо времени на поездку, учитываются и другие компоненты критерия оптимизации, но здесь важно, что доступность отражается в них именно средней или суммарной величиной; - средняя (или суммарная) величина потенциала [Шмульман, Панина, 1980; Лоуиу, 1964]; потенциал района (не путать со структурно-функциональным потенциалом, по А.З. Гутнову) – характеристика, аналогичная связности; например, связность с населением соответствует потенциалу голландских районов, в котором, подобно связности, – сумма умноженных на коэффициент численности населения районов, но зависимость коэффициента от времени на поездку в характеризующий район не дикотомическая (берём в сумму или нет – как у связности), а гладкая, убывающая; - средняя связность [Боевский, 2001; 2016; Гутнов, 1980; 1984; 1985; Гостев, 2018]. Не все упомянутые здесь модели заявлены их авторами как оптимизирующие среднюю (или суммарную) величину какой-то характеристики доступности. Но мы, зная алгоритм, утверждаем: в них именно такой критерий оптимальности.	Данная версия не была реализована в виде компьютерной программы, но предложенный здесь подход к проблеме оптимальности был применён в компьютеризированных версиях модели ПОЛИЦЕНТР, указанных ниже в данной таблице.
[Евобид, Каверин, Шмульман, 1984]	Здесь, помимо элементов математического обеспечения, взятого из предыдущей публикации и работающего со связностями, предложен алгоритм расчёта обеспеченности населения района объектами обслуживания, доступными для него с комфортным временем поездки. На основе таких обеспеченности, вычисленных для всех районов, сформулированы критерии оптимальности, аналогичные указанным в предыдущей публикации, включая стандартное отклонение. Предложены соответствующие оптимизирующие формулы.	1) Транспортная модель, учитывающая замедление движения на перегруженных участках сети, была разработана для Москвы только во второй половине 90-х годов XX века. До этого в транспортных расчётах скорости движения на всех участках сети приходилось зрительно догадываться. При работе по существующему положению скорости можно брать по натурным обследованиям. Но для расчётов по вариантам долгосрочного развития города это превращается в препятствие для корректной оценки вариантов на острую транспортную проблему. 2) В 1984 году подготовка данных для модели была очень трудоёмка. Например, картотека Мастер ВТИ описывала менее половины фонда застройки города. Электронных баз градостроительных данных и компьютерной графики не существовало. Поэтому ограничения на моделируемые изменения населения и рабочих мест в каждом районе готовились вручную – с опорой на экспертные знания специалистов-градостроителей. То есть до начала моделирования проекционные заголовки данными об ограничениях таблицу по всем районам Москвы притом что времени на проектирование и (тем более) на моделирование всегда (!) катастрофически не хватало.
[Dubov, Kaverin, Malyukov, 1984]	Здесь система критериев модели ПОЛИЦЕНТР использована при построении нормативно-поведенческой модели, позволяющей оптимизировать размещение рабочих мест в сфере обслуживания с учётом их транспортной доступности.	3) Указанная в столбце "особенности... версий модели" схема организации диалога с компьютером была реализована на рубеже XX и XXI веков. По проблеме 2 – эта версия сэкономила время работы проектировщика в несколько раз благодаря двум преимуществам: - экспертные знания о возможности увеличить в каком-то районе численность рабочих мест в обслуживании – проектировщику нужно было применять не ко всем районам города (как в прошлых версиях), а только к рекомендуемым районам. Это, например, 1/4 от общего количества расчётных районов Москвы. - указанные знания применялись непосредственно при создании варианта развития города, то есть в рамках привычной для градостроителя деятельности. Однако продолжительность процесса создания варианта многократно увеличилась по сравнению с предыдущими версиями, формировавшими вариант алгоритмически. Это отличие данной версии не позволяло использовать её в рамках нормативно-поведенческой схемы итерационно-о взаимодвижения с транспортной моделью. Хотя к тому времени Институт Генплана уже имел транспортную модель, учитывающую замедление движения на перегруженных участках сети, кейтот пророчного процесса зачастую не давал возможности даже однократно вычислить оценки затрат времени населения на передвижения для вновь сформированных (на модели ПОЛИЦЕНТР) вариантов развития города.
[Каверин, Заблудовский, 2003; Каверин, 2004]	Описанная здесь версия разрабатывалась и использовалась в Институте в 1988–2014 годах, в том числе в проектах генеральных планов Москвы 1999 и 2010 годов. <i>Любой для разработки версии – проблема, указанная здесь (правее под номером 2. Идея её решения: эксперт-градостроитель (проектировщик), вместо авторской подготовки таблицы ограничений, учитывает свои представления о них при формировании варианта развития Москвы в диалоге с компьютером.</i> Соответствующая программа была разработана уже в 1988 году, но полноценные её версии могли возникнуть только в эпоху Windows, когда появилась возможность реализовать следующую схему диалога. Компьютер показывает на карте рекомендуемые районы, такие что, если произвольно распределить по ним заданное количество новых рабочих мест в обслуживании, то критерий оптимальности достигнет своих желательных (или даже лучших) значений, выбранных проектировщиком на предыдущих шагах диалога. Проектировщик распределяет по рекомендуемым районам упомянутые рабочие места, указывая мышью на карте нужные районы с учётом своих представлений об ограничениях. Каждый клик мышью увеличивает численность рабочих мест в нужном районе на 1/500 (например) часть от распределённого количества. Тем самым формируется вариант развития города. Удобный интерфейс предусмотрен и для выбора желательных значений критериев.	

Источник: данные авторов.

Заключение

Анализ результатов экспериментальных расчетов, проведенных с помощью модели ПОЛИЦЕНТР и транспортной модели на данных по Москве и Московской области, показал:

1) Оптимизируя размещение в Москве мест приложения труда, проживания и обслуживания населения по критериям их взаимной транспортной доступности, можно способствовать решению проблемы перегруженности транспортных связей, реализующих центростремительные поездки утром и центробежные – вечером, одновременно создавая условия для развития полицентричности города за счет увеличения посещаемости сложившихся и возникающих периферийных центров обслуживания. Возникновение таких центров в процессе моделиро-

вания не контролируется, но зато есть определенные гарантии *оптимальности* создаваемых для этого условий.

2) Прогнозные состояния города, задействованные в расчетах, обладают ресурсом, необходимым для решения проблемы, сформулированной в п. 1³⁶. Этот ресурс складывается из возможности изменять функционально-пространственную структуру города с учетом прогнозных оценок по наличию:

- территориальных резервов (сноса, строительства, реконструкции и перепрофилирования фонда застройки), оцениваемых в модели *при помощи ограничений*, накладываемых на изменения численности населения и числа рабочих мест в каждом расчетном районе;
- возможностей транспортной сети осуществлять перевозки пассажиров в условиях перераспределения потоков, происходящего в связи с моделируемыми изменениями функционально-пространственной структуры города.

3) Наличие ресурса, описанного в п. 2³⁷, может быть рассмотрено в контексте общей теории городского развития А.Э. Гутнова, в которой обосновывается принцип цикличности в эволюционном развитии градостроительных систем (ГС). Согласно теории, в *моменты появления* ресурса ОРП (очевидно) ГС *должна переходить* от фазы территориального роста к фазе структурной реорганизации. В свою очередь, *моменты исчерпания* ресурса ОРП, по-видимому, должны совпадать с *обратным переходом*³⁸. С этой точки зрения отмечавшиеся в нашем исследовании признаки исчерпаемости искомого ресурса можно интерпретировать как «симптомы» приближения такого *обратного (!) перехода*. Прогнозирование моментов времени, когда фазы развития ГС должны сменять друг друга, — одно из направлений продолжения данного исследования.

4) Проведенный анализ результатов экспериментальных расчетов по Москве, Казани и Севастополю *показал*: модель ПОЛИЦЕНТР как генератор прогнозируемых вариантов развития города для разрабатываемой методики исследования ресурса ОРП, справляется с этой ролью. С помощью модели удается устойчиво улучшать характеристики работы транспортной сети, одновременно создавая условия для развития полицентричности города. Это было продемонстрировано на десятках вариантов прогноза. Однако по ходу изложения результатов анализа были намечены некоторые направления совершенствования модели, в том числе:

- улучшение методов моделирования и учета культурно-бытовых поездок населения;
- разработка алгоритма учета «зависимых» ограничений, накладываемых на моделируемые изменения численности населения и числа рабочих мест в каждом расчетном районе модели.

Источники

- Бабий А.В., Каверин А.Р., Шмульян Б.Л. (1984) Принципы организации диалога для формирования стратегии размещения обслуживающих центров в крупнейшем городе // Элементы диалоговой системы анализа и управления развитием города. Сборник трудов. Вып. 14. М.: ВНИИСИ. С. 49–57.
- Баевский О.А. (2001) Эволюционный подход к управлению градостроительным развитием крупнейшего города. Московский опыт // Градостроительство России XXI века: сборник научных статей РААСН. М.: Московские учебники и Картолитография.
- Баевский О.А. (2016) Территориальное планирование и проектирование на основе исследования пространственной структуры города: курс лекций. Высшая школа урбанистики имени А.А. Высоковского.
- Бутусов А.Х., Гутнов А.Э., Каверин А.Р., Корнеева И.Е. (1979) Анализ некоторых функционально-транспортных характеристик городской территории // Географические исследования городской среды. М.: Институт географии АН СССР. С. 95–116.
- Гостев М.В. (2018) Об эвристической природе моделей эволюционного городского развития // Городские исследования и практики. Т. 3. № 1. С. 7–22.
- Гутнов А.Э. (1980) Структурно-функциональная организация и развитие градостроительных систем. Автореф. дис. на соиск. ученой степени д-ра архитектуры.

36 Возможность решения проблемы, указанной в п. 1, — признак наличия этого ресурса.

37 В статье для обозначения данного ресурса введен термин «ресурс ОРП».

38 Вероятно, упомянутые переходы (в обоих направлениях) могут происходить с задержкой относительно указанных моментов времени.

- Гутнов А.Э. (1984) Эволюция градостроительства. М.: Стройиздат.
- Гутнов А.Э. (1985) Системный подход в изучении города: основания и контуры теории городского развития//Системные исследования. Методологические проблемы. М.: Наука. С. 211–232.
- Гутнов А.Э., Каверин А.Р., Лапшев П.И. (1979) Исследование транспортно-коммуникационных характеристик территории г. Москвы с использованием ЭВМ//Моделирование городских систем. Труды I школы-семинара. М.: ВНИИСИ. С. 202–210.
- Каверин А.Р. (1983) Использование ЭВМ для сравнения и оценки альтернатив стратегий территориального развития города//Управление большим городом. Тезисы докладов II всесоюзной конференции. Часть 1. Москва: НПО АСУ «Москва». С. 131–133.
- Каверин А.Р. (2004) Критерии сравнения альтернатив развития города с учетом транспортной доступности//Вопросы планировки и застройки городов: Материалы XI Международной научно-практической конференции/Ю.В. Круглов, В.С. Глухов (ред.). Пенза: ПГУАС. С.138–141.
- Каверин А.Р., Заблудовский М.И. (2003) Методика размещения центров обслуживания с учетом факторов доступности//Вопросы планировки и застройки городов: Материалы X Международной научно-практической конференции/Ю.В. Круглов, В.С. Глухов (ред.). Пенза: ПГАСА. С. 55–58.
- Каверин А.Р., Лапшев П.И. (1979) Метод использования информационного обеспечения модели размещения функциональных подсистем города для решения локальных градостроительных задач//Автоматизация управления городом. Тезисы докладов семинара. М.: ГлавНИВЦ. С 23–26.
- Котов Е.А., Гончаров Р.В., Новиков А.В., Никогосян К.С., Городничев А.В. (2016) Москва: курс на полицентричность. Оценка эффектов градостроительных проектов на полицентрическое развитие Москвы/О.А. Баевский, Г.В. Витков, Т.Е. Шварева (ред.). М.: НИУ ВШЭ.
- Лившиц В.В. (1979) Разработка математической модели и прикладных программ для проектирования системы учреждений обслуживания городского населения//Достижения и перспективы. Вып. 11. Города и системы расселения. М.: МЦНТИ, КСА при Президиуме АН СССР.
- Шмульян Б.Л., Панина И.К. (1980) Энтропийные методы моделирования городских систем. М.: ВНИИСИ.
- Dubov Yu.A., Kaverin A.R., Manukyan S.A. (1984) Normative-Behavioural Models of Service Allocation in Urban Systems//Sistemi Urbani. Napoli: Guida Editori. No. 2. P. 163–194.
- Harris B. (1966) Notes on Accessibility. Philadelphia. Univ. of Penns.
- Lowry I. (1964) A Model of Metropolis. Santa Monica. CA: RAND Corporation.

ALEKSEI KAVERIN, YURI ARPISHKIN,
IVAN GREBENSCHIKOV, LYUBOV MEDVEDEVA,
GLEB ROMANOV

POLICENTER:

A WORKPLACE, HOUSING AND PUBLIC SERVICES PLACEMENT OPTIMIZATION
MODEL

Aleksei R. Kaverin, senior specialist, Genplan Institute of Moscow; 2/14 2-ya Brestskaya str., Moscow, 125047, Russian Federation.

E-mail: kaverin.ar.51@gmail.com

Yuri P. Arpishkin, senior specialist, Genplan Institute of Moscow; 2/14 2-ya Brestskaya str., Moscow, 125047, Russian Federation.

E-mail: yuarpishkin@genplanmos.ru

Ivan V. Grebenschikov, leading specialist, Genplan Institute of Moscow; 2/14 2-ya Brestskaya str., Moscow, 125047, Russian Federation.

E-mail: ivg810@mail.ru

Lyubov V. Medvedeva, leading specialist, Genplan Institute of Moscow; 2/14 2-ya Brestskaya str., Moscow, 125047, Russian Federation.

E-mail: yunde@mail.ru

Gleb G. Romanov, specialist, Genplan Institute of Moscow; 2/14 2-ya Brestskaya str., Moscow, 125047, Russian Federation.

E-mail: romanovgleb@gmail.com

Abstract

This article is devoted to a model that optimizes the placement of the main city functions in the city of Moscow according to the criteria of these functions' mutual transport accessibility. The results of simulation experiments carried out in 2018-2019 are considered. It is shown that the options for the city's development, generated during the optimization process, contribute, firstly, to the solution transport problem of the city (shown by the example of computational experiments of the morning rush hour for several dozen prediction options), and secondly, to creating conditions for the development of the city's polycentricity by increasing the attendance of established and emerging peripheral (mostly) service centers (this is substantiated at the level of the principles and elements of the optimization algorithm). When analyzing the predictive dynamics based on the generated options of the development for Moscow and two more cities, signs of the approaching moments of transition from "territorial growth" to "structural reorganization" and vice versa were revealed. The regularity of such transitions was substantiated by Gutnov in the "general theory of urban development".

Key words: city modeling; spatial analysis; normative-behavioral models; optimality

Citation: Kaverin A., Arpishkin Y., Grebenschikov I., Medvedeva L., Romanov G. (2019) POLICENTER: A Workplace, Housing and Public Services Placement Optimization Model. *Urban Studies and Practices*, vol. 4, no 4, pp. 42–69. (in Russian) DOI: <https://doi.org/10.17323/usp44201942-69>

References

Babij A.V., Kaverin A.R., Shmul'yan B.L. (1984) Principy organizacii dialoga dlya formirovaniya strategii razmeshcheniya obsluzhivayushchih centrov v krupnejšem gorode [Principles of Dialog Organisation in Strategic Planning of Service Centers Allocation in the Largest City]. *Elementy dialogovoj sistemy analiza i upravleniya razvitiem goroda*.

Sbornik trudov. Vypusk 14 [Elements of a Dialogue System for Analyzing and Managing the Development of a City. Issue 14]. Moscow: VNIISI, pp. 49–57. (in Russian)

Baevskij O.A. (2001) Evolyucionnyj podhod k upravleniyu gradostroitel'nym razvitiem krupnejšego goroda. Moskovskij opyt [An Evolutionary Approach to Urban Development Management in a Major City. Moscow Experience]. *Gradostroitel'stvo Rossii*

- XXI veka: sbornik nauchnyh statej RAASN* [Urban Planning of Russia in the XXI Century: Collection of Academic Articles of the RAASN]. Moskva: Moskovskie uchebniki i kartolitografiya [Moscow: Moscow Textbooks and Cartolithography]. (in Russian)
- Baevskij O.A. (2016) Territorial'noe planirovanie i proektirovanie na osnove issledovaniya prostranstvennoj struktury goroda: kurs lekcij [Urban Planning and Design Based on the Study of the Spatial Structure of the City: A Course of Lectures]. Vysshaya shkola urbanistiki imeni A.A. Vysokovskogo [Vysokovsky Graduate School of Urbanism]. (in Russian)
- Butusov A.H., Gutnov A.E., Kaverin A.R., Korneeva I.E. (1979) Analiz nekotoryh funkcional'no-transportnyh harakteristik gorodskoj territorii [Analysis of Some Functional and Transport Features of the Urban Space]. *Geograficheskie issledovaniya gorodskoj sredy* [Geographic Studies of the Urban Environment. Institute of Geography of the Academy of Sciences of the USSR]. Moskva: Institut geografii AN SSSR [Moscow: Institute of Geography of the Academy of Sciences of the USSR], pp. 95–116. (in Russian)
- Dubov Yu.A., Kaverin A.R., Manukyan S.A. (1984) Normative-Behavioural Models of Service Allocation in Urban Systems. *Sistemi Urbani. Napoli: Guida Editori*, no 2, pp. 163–194.
- Gostev M. (2018) On the Heuristic Nature of Evolutionary Urban Development Models. *Urban Studies and Practices*, vol. 3, no 1, pp. 7–22 (in Russian)
- Gutnov A.E. (1980) Strukturno-funcional'naya organizaciya i razvitie gradostroitel'nyh sistem [Structural and Functional Organization and Development of Urban Planning Systems]. Avtoref. dis. na soisk. uchen. stepeni d-ra arhitektury. Moscow. (in Russian)
- Gutnov A.E. (1984) Evolyuciya gradostroitel'stva [The Evolution of Urban Development]. Moscow: Strojizdat. (in Russian)
- Gutnov A.E. (1985) Sistemnyj podhod v izuchenii goroda: osnovaniya i kontury teorii gorodskogo razvitiya [A Systematic Approach to the Study of the City: The Foundations and Contours of the Theory of Urban Development]. *Sistemnye issledovaniya. Metodologicheskie problem* [System Studies. Methodological Issues]. Moskva: Nauka [Moscow: Nauka Publishing House], pp. 211–232. (in Russian)
- Gutnov A.E., Kaverin A.R., Lapshyov P.I. (1979) Issledovanie transportno-kommunikacionnyh harakteristik territorii g. Moskvy s ispol'zovaniem EVM [Study of the Transport and Communication Characteristics of the Territory of Moscow Using a Computer]. *Modelirovanie gorodskih sistem. Trudy I shkoly-seminara* [Modeling Urban Systems. Proceedings of the I School-Seminar]. Moscow: VNIISI, pp. 202–210. (in Russian)
- Harris B. (1966) Notes on Accessibility. Philadelphia, Univ. of Penns.
- Kaverin A.R. (1983) Ispol'zovanie EVM dlya sravneniya i ochenki al'ternativ strategij territorial'nogo razvitiya goroda [Using Computers for Comparing and Evaluating Alternatives of Strategies for the Spatial Development of a City]. *Upravlenie bol'shim gorodom. Tezisy dokladov II vsesoyuznoj konferencii. CHast' 1* [Management of a Large City. Abstracts of the II All-Union Conference. Part 1]. M.: NPO ASU «Moskva», pp. 131–133. (in Russian)
- Kaverin A.R. (2004) Kriterii sravneniya al'ternativ razvitiya goroda s uchyotom transportnoj dostupnosti [Criteria for Comparing the Alternatives of City Development Based on Transport Accessibility]. Kruglova Y.V., Gluhova V.S. (eds.) *Voprosy planirovki i zastrojki gorodov: Materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Questions of Planning and Development of Cities: Materials of the XI International Scientific and Practical Conference]. Penza: PGUAS, pp. 138–141. (in Russian)
- Kaverin A.R., Zabludovskij M.I. (2003) Metodika razmeshcheniya centrov obsluzhivaniya s uchyotom faktorov dostupnosti [Methodology for the Placement of Service Centers Based on the Factors of Accessibility]. Kruglova Y.V., Gluhova V.S. (eds.) *Voprosy planirovki i zastrojki gorodov: Materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Questions of Planning and Development of Cities: Materials of the XI International Scientific and Practical Conference]. Penza: PGASA, pp. 55–58. (in Russian)
- Kaverin A.R., Lapshyov P.I. (1979) Metod ispol'zovaniya informacionnogo obespecheniya modeli razmeshcheniya funkcional'nyh podsystem goroda dlya resheniya lokal'nyh gradostroitel'nyh zadach [The Method of Using Information Support of the Model of Placing Functional Subsystems of the City for Solving Local Urban Planning Issues]. *Avtomatizaciya upravleniya gorodom. Tezisy dokladov seminar* [Automatisation of City Management. Abstracts of the Seminar]. GlavNIVC. Moscow: pp. 23–26. (in Russian)
- Kotov E.A., Goncharov R.V., Novikov A.V., Nikogosyan K.S., Gorodnichev A.V. (2016) Moskva: kurs na policentrichnost'. Ocenka effektivov gradostroitel'nyh proektov na policentricheskoe razvitie Moskvy [Moscow: The Course Towards Polycentricity. Assessment of the Effects of Urban Planning Projects on the Polycentric Development of Moscow]. Moscow: HSE Publishing House. (in Russian)
- Livshic V.V. (1979) Razrabotka matematicheskoy modeli i prikladnyh programm dlya proektirovaniya sistemy uchrezhdenij obsluzhivaniya gorodskogo naseleeniya [Development of a Mathematical Model and

Applied Programs for Designing a System of Service Institutions for the Urban Population]. *Dostizheniya i perspektivy. Vyp. 11. Goroda i sistemy rasseleniya* [Achievements and Prospects., M. vol. 11. Cities and Settlement Systems]. Moskva: MCNTI, KSA pri Prezidiume AN SSSR [Moscow: ICSTI, KSA Under the Presidium of the USSR Academy of Sciences] (in Russian)

Lowry I. (1964) A Model of Metropolis. Santa Monica, CA: RAND Corporation.

Spmul'yan B.L., Panina I.K. (1980) Entropijnye metody modelirovaniya gorodskih system [Entropy Methods for Modeling Urban Systems]. Moscow: VNIISI. (in Russian)

МАКСИМИЛИАН ГОСТЕВ

ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ГОРОДСКОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ И ТРАНСПОРТА:

РАЗРАБОТКА ЭВРИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Гостев Максимилиан Вадимович, магистр градостроительства, Высшая школа урбанистики имени А.А. Высоковского ФГРР НИУ ВШЭ; начальник отдела транспортного планирования МБУ «Институт «Казгражданпроект»; ассистент кафедры географии и картографии Казанского (Приволжского) федерального университета; специалист в области прикладной математики и информатики, Казанский федеральный университет; Российская Федерация, 420012, Казань, ул. Достоевского, 35/10, тел.: +7 (987) 418-88-76

E-mail: mailtogmv@gmail.com

Статья посвящена разработке эвристической модели развития города, или градостроительной системы. Предлагается подход, в рамках которого задача проектирования эффективной пространственно-функциональной организации той или иной градостроительной подсистемы формулируется как частная задача проектирования всей системы в целом, что обеспечивает преимущество подхода и по отношению к проектированию прикладных моделей, и по отношению к развитию теоретических положений. С этой целью разработка эвристической модели города реализуется как уточнение ряда механизмов территориально-коммуникационной модели, которая, в свою очередь, базируется на фундаменте каркасно-тканевой модели А.Э. Гутнова.

Приводится принципиальная схема модели градостроительной системы – ее статическое, динамическое и эволюционное описание. Обсуждается комбинированный, нормативно-прогнозный характер модели, позволяющий сбалансировать долгосрочные стратегические цели с краткосрочными тактическими задачами, а плановые решения – с естественным ходом развития города. Предлагается критерий оценки пространственно-планировочной организации системы. Выделяются и формализуются системы землепользования и транспорта, частные и публичные агенты.

Механизмы модели формулируются в терминах относительно независимых подзадач. Для системы землепользования рассматривается задача оптимального пространственного размещения жилищного и общественно-делового фондов относительно друг друга на основе оценок градостроительного потенциала территории и пространственных диспропорций. Для транспортной сети рассматриваются задачи оптимального выбора пропускных способностей сегментов сети и повышения связности сети. Предлагаются алгоритмы решения каждой из этих подзадач.

Описывается положение разработанной модели в структуре актуальных знаний о городе в контексте системного подхода к градостроительной деятельности. Характеризуется процесс управления развитием города с применением разработанной модели: в качестве примеров разбираются такие этапы, как обоснование проектных решений и подготовка программы реализации генерального плана.

Обоснованные в рамках структуры модели инструменты обладают свойством универсальности, то есть не зависят от конкретной моделируемой территории.

Ключевые слова: городские модели; транспортные модели; городские системы; городская динамика; эвристические модели; эволюция города

Цитирование: Гостев М.В. (2019) Эволюционное развитие систем городского землепользования и транспорта: разработка эвристической модели // Городские исследования и практики. Т. 4. № 4. С. 70–92. DOI: <https://doi.org/10.17323/usp44201970-92>

Введение

Практика принятия решений в области физической городской транспортной инфраструктуры в отечественном городском планировании отличается рядом особенностей. Принятие решений в этой области зачастую носит политический характер и потому тактическую, а не стратегическую направленность. К этому аспекту решений относится и практика количественного, а не качественного развития городской транспортной инфраструктуры: отчеты органов власти сообщают о протяженности проложенных и отремонтированных дорог, но не характеризуют их топологическую структуру. Также принятие решений в области транспортной инфраструктуры носит отраслевой характер. Традиционно транспортные модели нацелены на анализ текущей транспортной ситуации или на прогнозирование транспортных потоков при разработке генеральных планов. В случаях, когда результаты прогнозирования транспортных потоков служат для обоснования строительства новых дорог, критерии оптимальности транспортного планирования представляются как более приоритетные, чем критерии оптимальности землепользования. В то же время критическая важность взвешенности таких решений обусловлена законодательством, которое позволяет производить изъятие земельных участков у собственников под линейные объекты и объекты транспортной инфраструктуры. С другой стороны, развитие городских территорий также зачастую происходит без учета уже существующей и будущей транспортной нагрузки, что вопреки увеличению объемов застройки снижает эффективность землепользования в целом. Между тем широко признается, что системы городского землепользования и транспорта неразрывно связаны друг с другом [Wegener, 2004]. Следовательно, для принятия эффективных градостроительных решений их функционирование должно рассматриваться в комплексе, а их взаимное влияние — как непрерывный итеративный процесс; разовое решение в рамках каждой из систем быстро утрачивает актуальность.

Хотя правовая культура в части регулирования городского землепользования путем принятия и актуализации генеральных планов и правил землепользования и застройки утвердилась в практике значительной части российских городов, развитие городской улично-дорожной сети (далее — УДС) остается проблемой, разрешение которой не получило последовательного системного подхода.

Особая актуальность этой проблемы для российских городов обусловлена сложившимися в советский период характеристиками УДС: низкой плотностью, малой долей площади относительно площади всего города, топологической неразвитостью [Белянин, 2015]. Подобная ситуация сложилась как в силу недооценки темпов автомобилизации страны, так и в силу перехода от квартальной застройки к микрорайонной [Глазычев, 2008]. По замечанию Г. Шелейховского, УДС не проектировалась, а «рисовалась» [Шелейховский, 1946]. Советские строительные нормы и правила планировки городов, исходящие из перспективного уровня автомобилизации 180 автомобилей на 1000 жителей [Госстрой СССР, 1985], применяются и сегодня, в то время как фактический уровень автомобилизации на 1 января 2017 года в среднем по стране составил 288 автомобилей на 1000 человек [Тимерханов, 2017]. Хотя сама идея сдерживания роста автомобилизации — преимущественно по примеру азиатских городов — становится все популярнее, о ее внедрении говорить рано: в российских городах не сложились предпосылки для формирования устойчивой транспортной системы. В условиях роста национального дохода, с одной стороны, и разбалансированной системы землепользования, формирующей неизбежное преобладание спроса на продолжительные автомобильные поездки над спросом на поездки на общественном транспорте — с другой, повышение уровня автомобилизации населения неизбежно.

Можно заключить, что в настоящее время в российских городах отсутствует ясная транспортная политика, а мероприятия по развитию УДС недостаточно обоснованы; долгосрочным эффектом такой практики является дальнейшая рассинхронизация развития землепользования и транспорта.

Ответом на заявленную проблему может служить теоретическое обоснование проектов УДС. Нецелесообразно рассматривать транспорт в отрыве от землепользования: необходима общая фундаментальная теория, которая объясняла бы их взаимодействие. Операционная модель, построенная на базе такой теории, могла бы служить инструментом обоснования проектных решений и проведения политики и в области землепользования, и в области транспорта.

1. Обзор практики моделирования

Область разработки прикладных моделей, получивших обобщенное название «интегрированные модели землепользования и транспорта», развивается с 1950-х годов [*Acheampong, Silva, 2015*]. Несмотря на значительную эволюцию, которую прошли эти модели в вопросах репрезентации системы землепользования, от гравитационных моделей [*Lowry, 1964*] до клеточных автоматов [*Batty, Xie, 1994*], их транспортный компонент остался преимущественно ограничен стандартной четырехэтапной транспортной моделью [*Chang, 2006*]. Даже в развитых интегрированных моделях фактически принимается во внимание лишь одно из направлений «обратной связи» между двумя системами — влияние существующей транспортной инфраструктуры, выраженное в виде показателей транспортной доступности, на развитие землепользования [*Geurs, Wee, 2004*]. В интегрированных моделях действует все тот же отраслевой принцип, хотя и включенный в итеративный цикл. Такие модели предлагают эмпирические инструменты, основанные на анализе эмпирических данных: связи в таких моделях обусловлены анализом реальных процессов и, следовательно, неизбежно репрезентируют закономерности частных случаев, поскольку не обоснованы универсальными теоретическими положениями.

С другой стороны, появившаяся как результат применения системного подхода к градостроительству в 1980-е годы в СССР [*Гутнов, 1985*] каркасно-тканевая модель города [*Гутнов, 1984*] предложила фундаментальное теоретическое описание функционирования и развития города. Разработанные позднее территориально-коммуникационная модель [*Баевский, 2001*] и неравномерно-районированная модель [*Высоковский, 2005*] также декларируют сложную функционально-пространственную организацию и эволюционный характер развития города. Учет эволюционного характера городского развития позволяет обеспечить долгосрочность и устойчивость предлагаемых моделями проектных решений. Однако хотя эти модели базируются на обширных теоретических положениях, в некоторых аспектах, и в первую очередь в вопросах репрезентации транспортной системы, требуют уточнения, формализации и операционализации.

Таким образом, задача построения операционной модели города, которая отражала бы эволюционный характер развития и двунаправленную связь между системами землепользования и транспорта и одновременно с этим позволяла бы явным образом моделировать развитие УДС (и ее топологию, и параметры сегментов) как неотъемлемой части градостроительной системы, еще не решена.

В случае интегрированных моделей систем землепользования и транспорта развитие прикладных операционных моделей шло в направлении усложнения их внутренних структур и диверсификации учитываемых факторов, в то же время отдельные модели были нацелены преимущественно на решение локальных задач. Такой подход лишен универсальности. Оптимальный подход связан с противоположным направлением: строится максимально обобщенная модель, а затем по мере необходимости детализируется. Обобщенная модель при этом является отражением общей теории, которой недостает «количественному» подходу. В отношении предмета моделирования целесообразно использовать понятие «градостроительная система» (далее — ГС). По определению А. Гутнова, ГС — это «относительно обособленная, функционально связанная область организованной человеческой пространственной среды, в пределах которой реализуется комплекс основных видов социальной активности населения, обусловленных достигнутым уровнем развития общества» [*Гутнов, 1984, с. 98*]. Термин «градостроительная система» позволяет избавиться от смысловой неоднозначности термина «город», так как включает область функционирования объекта, даже если она не совпадает с формальными административными границами. Также в этом понятии на первый план выведена структурная организация системы, ее внутренние взаимосвязи.

Было продемонстрировано [*Гостев, 2018*], что модели, явным или неявным образом построенные на теории общего городского развития, относятся к эвристическим. Эвристические методы занимают промежуточное положение между принятием решений без какой-либо уверенности в конечном результате (случайном, ни на чем не основанном процессе) и строгим однозначным алгоритмом, который гарантирует оптимальный результат [*Romanycia, Pelletier, 1985*]. Такие модели используются на практике, поскольку предлагают решения, представляющиеся проектировщикам близкими к оптимальным, в условиях неопределенности результатов и неполноты информации. Схождение решения к оптимальному обусловлено свойствами

эвристического подхода: ядром любой эвристической модели служит некоторая гипотеза, которая обеспечивает определенную степень уверенности в результатах.

В рамках эвристического подхода к задаче проектирования ГС за основополагающую гипотезу берется положение о том, что город развивается согласно эволюционному принципу, навстречу повышению коммуникативности. Такое представление о функционировании ГС сужает поле вариантов решения: поиск решения задачи осуществляется не в пространстве всех возможных функционально-структурных организаций ГС, а среди тех, чья организация укладывается в представления об эволюционных процессах. Следовательно, любые модели, которые будут построены в рамках теории общего городского развития, по существу всегда будут оставаться эвристическими.

Хотя, как было отмечено, транспортная составляющая эволюционных городских моделей изначально выражена слабее, особый интерес представляют именно они. Безусловно, область разработки городских моделей (в том числе эвристических) со значимым транспортным компонентом широка¹. Однако одна из задач статьи, наравне с собственно описанием модели, — проследить (в отношении существующих моделей) и продолжить (в части разрабатываемой модели) преемственность по отношению к определенному подходу путем последовательного разворачивания механизмов, уже заложенных в существующей модели (моделях). Именно поэтому решающее значение имеет не столько контекст предметной области в целом, сколько контекст в виде каркасно-тканевой и территориально-коммуникационной моделей.

2. Обоснование подхода к построению новой модели

В данной статье предлагается подход, при котором локальные задачи выделяются как частные, уточненные случаи общей задачи проектирования ГС, а модели, нацеленные на решение этих задач, строятся на фундаменте теории общего городского развития. Это связано с тем, что в динамической развивающейся системе развитие инфраструктуры неотделимо от развития землепользования, и наоборот, задачу развития УДС также целесообразно формулировать в терминах задачи проектирования ГС в целом. Таким образом, задача заключается в построении такой модели, которая:

- отражает эволюционный характер развития ГС;
- предлагает явную репрезентацию УДС;
- рассчитывает оптимальные параметры УДС при меняющейся интенсивности использования территорий;
- определяет оптимальные места размещения жилищного и общественно-делового фонда и их оптимальные объемы с учетом изменения транспортной доступности территорий.

Иными словами, в процессе решения задачи необходимо балансировать перспективный взаимообусловленный спрос на застройку различного назначения с учетом взаимоналожения изохронов транспортной доступности, причем после каждого крупного градостроительного преобразования системы.

Подход заключается в поэтапном уточнении и формализации отдельных компонентов ГС и механизмов взаимодействия между ними. Территориально-коммуникационная модель является первым этапом в уточнении и операционализации эволюционной модели; она включает в себя многократно апробированный на практике инструментарий.

Территориально-коммуникационная модель ГС, разработанная в Институте Генплана Москвы, развивает идеи А. Гутнова применительно к современным экономическим условиям [Баевский, 1989; 2001]. В названии модели отражена структура системы: ее элементы, территории, связаны в единую систему комплексом транспортно-коммуникационных связей — корреспонденций. Объекты, размещенные в границах территориальных элементов системы, могут быть как источниками корреспонденций, так и их целями.

¹ Помимо приведенных ранее источников по «интегрированным моделям», см., напр.: [Ding, Ujang et al. 2017; Gallo, D'Acerno, Montella, 2010; Kozlov, Buslaev, 2012; Manley, Orr, Cheng, 2015; Navarro-Ligero, Soria-Lara, Valenzuela-Montes, 2019; Suwansirikul, Friesz, Tobin, 1987; Switzer, Bertolini, Grin, 2013]. В этих работах осуществляются постановки и решения задач оптимизации транспортных сетей, в том числе с применением эвристического подхода.

Модель основана на гипотезе, согласно которой «целевая функция» города заключается в расширении пространственно-временной доступности выбора. Выбор, который предоставляет каждая территория, — количество и разнообразие возможных взаимодействий между объектами и их потребителями, которые находятся на территории и в пределах времени ее комфортной доступности. Объем выбора зависит от двух базовых факторов. Первый — насыщенность территории населением или объектами тяготения населения, целями корреспонденций — является индикатором ее привлекательности. Второй — обширность транспортных связей территории с другими, ее транспортная доступность. Индикаторами доступности являются значения связности территории с населением и с местами приложения труда и обслуживания. Выбор, который предоставляет каждая территория, тем больше, чем выше значения этих показателей. Объем выбора определяет эффективность организации территории.

Взаимосвязь насыщенности и связности подчиняется механизмам самоорганизации, свойственным сложным системам. В процессе итеративной балансировки значений насыщенности и связности выявляется область их оптимальных значений. Этим значениям соответствует максимально эффективная организация территории, к которой естественным образом эволюционируют прочие значения. Одновременное изменение значений показателей возможно в результате проведения масштабных проектов, однако естественный процесс эволюционного развития реализуется путем действий большого количества городских агентов. Он имеет дискретный характер и представляет собой последовательное движение навстречу максимально эффективной форме градостроительной организации территории. Таким образом, в ГС имеет место эволюционная тенденция к обеспечению сбалансированных значений характеристик насыщенности и связности, с одной стороны, и к совместному повышению их абсолютных значений — с другой. В схематическом виде эволюционная схема развития приведена на *рис. 3*.

Из всех упомянутых ранее моделей ГС территориально-коммуникационная модель является наиболее гибкой: она позволяет «надстраивать» дополнительные прикладные инструменты путем уточнения и формализации определений и методов количественного расчета значений параметров территориальных элементов системы — насыщенности и связности. Поскольку связность территорий обеспечивается транспортной инфраструктурой, модель «открыта» для включения явной репрезентации последней.

При этом решение подзадачи оптимизации УДС в заданном контексте также будет обеспечивать выполнение принципов безопасности и сохранения идентичности. Безопасность будет обеспечиваться за счет «выравнивания» транспортной доступности территорий с учетом существующего и перспективного спроса на перемещения со стороны системы землепользования, а также за счет определения оптимальных параметров пропускной способности сегментов сети. В свою очередь ценностная составляющая генерируемых моделью решений обусловлена тем, что допустимые трассировки сегментов УДС определяются в качестве исходных данных модели заранее, с учетом сложившейся структуры землепользования, в которой отражены вопросы сохранения сложившейся жилой среды и локальной идентичности, а также вопросов наследия.

3. Принципиальная схема модели ГС

Согласно исследовательской программе построения общей теории городского развития А. Гутнова, изучение ГС включает три основные задачи: статическое описание системы, динамическое описание системы и описание эволюционного развития системы [Гутнов, 1984]. Так как предлагаемая в статье модель базируется на основных положениях этой программы и положениях производной от нее территориально-коммуникационной модели ГС, целесообразно описывать проектируемую модель в тех же категориях.

3.1. Статическое описание модели ГС

Статическое описание приводится в терминах территориально-коммуникационной модели и теории графов [Оре, 1980], поскольку задача сформулирована так, что решения в части УДС должны проявляться явным образом; применение теории графов в транспортном планировании имеет давнюю историю [Берж, 1962; Тархов, 2005].

Модель ГС представляется в виде ориентированного графа $G = (V, U)$, где множеству вершин графа $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ соответствует множество территориальных элементов, а множеству дуг $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ — множество коммуникационных элементов. Каждая дуга $u_i = (v_k, v_l) \in U$ представляет сегмент УДС из узла v_k в узел v_l , $k, l \leq n$, $k \neq l$.

Территориальные элементы служат для размещения жилищного и общественно-делового фонда; их масштабы могут варьироваться в зависимости от задачи и могут представлять земельный участок, квартал, микрорайон, планировочный район, функциональную зону. Каждый элемент $v_i \in V$, $i = \overline{1, n}$, имеет атрибуты, выражаемые в квадратных метрах:

- D_i^H , объем жилой застройки;
- D_i^L , объем общественно-деловой застройки;
- W_i^H , объем занятых жилых площадей;
- W_i^L , объем занятых площадей мест приложения труда и обслуживания населения;
- L_i , предельные резервы развития территориального элемента.

Атрибуты близки понятию «технико-экономические показатели», которые используются при разработке проектов планировки территорий и генеральных планов поселений.

Коммуникационные элементы представляют собой автомобильные дороги, которые составляют единую городскую УДС. Каждый элемент $u_k \in U$, $k = \overline{1, m}$, имеет атрибуты:

- c_k , пропускная способность сегмента УДС;
- f_k , интенсивность транспортного потока, движущегося по сегменту УДС;
- t_k , продолжительность поездки по сегменту УДС;
- t_{0k} , продолжительность поездки по сегменту УДС без задержек, «в свободном потоке»;
- s_k , стоимость строительства сегмента УДС.

Принимаются следующие допущения относительно коммуникационных элементов.

1. Стоимость строительства сегмента сети $u_k \in U$ линейно зависит от его пропускной способности:

$$s_k = a_k c_k + b_k,$$

где $a_k > 0$ и $b_k \geq 0$ — коэффициенты стоимости, $k = \overline{1, m}$.

2. Продолжительность поездки по сегменту УДС зависит от его пропускной способности и интенсивности транспортного потока. Модели, построенные по такому принципу, относятся к классу BPR-моделей [Bureau of Public Roads, 1964]. В соответствии со стандартной BPR-моделью продолжительность поездки по сегменту сети $u_k \in U$ выражается как

$$t_k = t_{0k} \left(1 + \alpha \left(\frac{f_k}{c_k}\right)^\beta\right),$$

где $\alpha > 0$ и $\beta > 0$ — калибровочные параметры модели, $k = \overline{1, m}$.

BPR-модель относится к классу статических транспортных макромоделей; транспортный поток описывается упрощенно: на каждом сегменте УДС используется одна его макроскопическая характеристика — интенсивность. Макромодели предназначены для моделирования транспортной ситуации на крупномасштабных транспортных сетях городов, регионов, стран [Воробьев и др., 2015]. Их прогнозы доставляют средние значения продолжительностей поездок, которые применяются для долгосрочного планирования, а не управления транспортными потоками в реальном времени; в последнем случае применяется теория микромоделирования потоков [Блинкин, 2015; Швецов, 2003].

BPR-модель использовалась в Институте Генплана Москвы при разработке транспортной модели Москвы, Московской области, Казани и ряда других городов [Воробьев и др., 2015].

Параметр α определяет отношение времени пути в свободном потоке к времени пути по дороге с ненулевым потоком; параметр β определяет, насколько быстро возрастает продолжительность поездки при увеличении потока. Традиционно применяются значения параметров $\alpha = 0,5$ и $\beta = 4$, полученные эмпирическим способом [Dowling, Skabardonis, 1993].

3. Максимальная продолжительность t_{\max} комфортной поездки, осуществляемой на регулярной основе, соответствует «стене Маркетти».

Определенная в 1990-х годах как «антропологический инвариант транспортного поведения», она заключается в том, что горожане в среднем тратят 60–90 минут на поездки до мест приложения труда и обратно [Marchetti, 1994]. Аналогичная величина, «константа пространственной самоорганизации населения», была введена в 1970-х годах Г. Гольцем и определена как 30–40 минут в один конец [Гольц, 1981].

При определении t_{\max} следует исходить из приведенных инвариантов, с поправкой на особенности моделируемой ГС.

В случае территориальных элементов горожане репрезентируются объемами занятых площадей; в случае коммуникационных элементов — транспортными потоками. Значения атрибутов взаимопереводимы на основании значений обеспеченности людей жилыми и рабочими площадями, norm^H и norm^I соответственно. Если жилищный фонд территории $v_i \in V$ генерирует транспортный поток f_k , то связь между объемом потока и занятыми жилыми площадями должна удовлетворять выражению

$$W_i^H = f_k \text{norm}^H.$$

Аналогично для мест приложения труда и обслуживания населения: если территория $v_i \in V$, на которой размещен общественно-деловой фонд, поглощает транспортный поток f_k , то связь между объемом потока и занятыми рабочими площадями должна удовлетворять выражению

$$W_i^I = f_k \text{norm}^I.$$

Статическое описание модели ГС в графическом виде приведено на рис. 1.

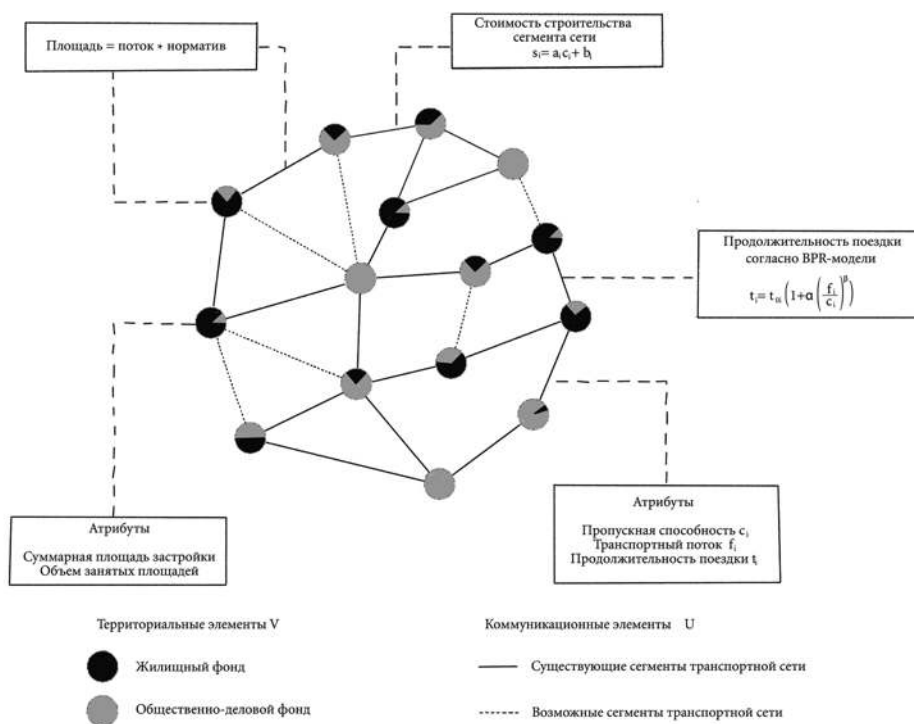


Рис. 1. Статическое описание модели ГС

Источник: схема составлена автором.

3.2. Динамическое описание ГС

Динамическое состояние обеспечивается за счет целенаправленных действий городских агентов, которые разворачиваются во времени.

1. Цель органов публичной власти — выровнять транспортную обеспеченность для всех территорий ГС за счет преобразований УДС, выполнив ограничения бюджета. Публичная сторона не решает проблему транспортной доступности отдельных территорий, поскольку изменение одного элемента ведет к изменениям во всей транспортной сети — перераспределению транспортных потоков и, следовательно, изменению показателей доступности всех территорий.

Нормативная задача публичной стороны — минимизировать суммарную продолжительность поездок по всей УДС.

Поскольку определение ГС не ограничивает ее пределами административных границ, под публичной стороной понимаются органы власти любого возможного масштаба.

2. Цель агентов жилищного сектора (жителей и застройщиков) — разместить жилье ближе к местам приложения труда и обслуживания путем занятия вакантных площадей существующей застройки и строительства нового жилищного фонда.

3. Цель агентов общественно-делового сектора (предприятий, предоставляющих рабочие места и места обслуживания населения, и застройщиков) — разместить места приложения труда и обслуживания населения ближе к жилью путем занятия вакантных площадей существующей застройки и строительства нового общественно-делового фонда.

«Ближе» интерпретируется в смысле затрачиваемого на поездки времени.

В реальности действия всех городских агентов разворачиваются во времени непрерывно и одновременно; в модели считается, что городские агенты поочередно осуществляют дискретные действия, зацикленные во времени.

Динамическое описание модели ГС в графическом виде приведено на рис. 2.



Рис.2. Динамическое описание модели ГС

Источник: схема составлена автором.

3.3. Описание эволюционного развития ГС

Эволюционное развитие ГС обеспечивается инструментами, посредством которых городские агенты осуществляют свои действия и направленности этих действий.

Механизм эволюционного развития ГС заложен в территориально-коммуникационной модели. Действия агентов жилищного и общественно-делового секторов направлены на устранение территориальных диспропорций с точки зрения критерия привлекательности территорий: они используют градостроительный потенциал территории, большие значения ее транспортной доступности, повышая насыщенность. Агенты публичной стороны, развивая УДС, устраняют диспропорции с точки зрения связности территорий. Эффективность таких решений способствует естественному ходу развития города, поэтому поведение агентов можно охарактеризовать как рациональное.

Такой принцип укладывается в актуальную концепцию «компактного города» [Jenks, Burton, Williams, 1996]; для развития используются внутренние пространственные резервы: увеличиваются плотность застройки и УДС, ее доля от территории города.

«Направленность» исправлений диспропорций в графическом виде приведена на *рис. 3*. Описания действий агентов как решения подзадач будут приведены далее.

Физические резервы и внешние нормативные ограничения закладываются в модель следующим образом:

- для территориальных элементов: пространственные резервы территорий, $L_i, i = \overline{1, n}$;
- для коммуникационных элементов: граф возможных соединений $\bar{U} = \{\bar{u}_1, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_{m+r}\}$, $\bar{U} = U \cup \bar{U}$, где $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ — множество существующих сегментов, а $\bar{U} = \{\bar{u}_1, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_r\}$ — множество дуг, у которых пропускная способность равна нулю, но существует возможность строительства соответствующего сегмента; через предельные значения пропускных способностей всех возможных дуг $\bar{c} = (\bar{c}_1, \bar{c}_2, \dots, \bar{c}_{m+r})$.



Рис. 3. Описание эволюционного развития ГС

Источник: схема составлена автором.

3.4. Нормативно-прогнозный характер эволюционной эвристической модели

Модель, действующая в соответствии с описанными принципами, носит нормативно-прогнозный характер, то есть сочетает два подхода к выработке градостроительного решения.

При нормативном проектировании проект ГС представляется как описание будущего, в котором зафиксированы значения ряда параметров: затрат времени на поездки, плотности застройки, обеспеченности жильем и пр. Цель нормативного проекта — формирование оптимального варианта развития ГС с учетом имеющихся ресурсов. В данной модели цель сформулирована в терминах гипотезы о повышении коммуникативности города, а в числе ресурсов учитывается бюджет времени, средства городского бюджета и пространственные ресурсы.

Прогнозный проект ГС основывается на аналитико-исследовательском подходе и отражает степень уверенности в том, что действия проектировщика окажут необходимое воздействие на процесс эволюционного развития ГС.

Комбинированный характер модели заключается в том, что на основании прогноза изменения интенсивности землепользования вырабатываются нормативы для развития УДС и предлагаются методы их достижения; и наоборот, на основании заданного норматива вырабатывается стратегия развития землепользования, подчиняющаяся тенденциям эволюционного развития. Сочетание двух подходов позволяет преодолеть слабые стороны и ограничения каждого подхода в отдельности, сбалансировать долгосрочные стратегические цели с краткосрочными тактическими задачами, а плановые решения — с естественным ходом развития города.

4. Публичная сторона: развитие УДС ГС

4.1. Критерий оценки пространственно-планировочной организации ГС

Модель строится в условиях гипотезы о городе как «системе, сокращающей расстояния», что в современных условиях эквивалентно сокращению временных затрат на поездки. Время — важнейшая характеристика процессов городской жизнедеятельности. Транспортная система, обеспечивая экономию времени, формирует пространственно-временную структуру города и городской активности. Учет времени делает город соразмерным масштабу ежедневной человеческой жизнедеятельности. Задача проектирования эффективной организации ГС решается не только в пространстве, но и во времени [Гутнов, 1984].

Следовательно, показатель суммарной продолжительности поездок — не просто характеристика городского транспорта, а обобщающая комплексная оценка всей пространственно-планировочной организации ГС [Бочаров, Кудрявцев, 1972].

4.2. Прогнозирование транспортных потоков

На некоторых этапах принятия решений необходим прогноз нагрузки на УДС — интенсивности транспортных потоков на всех сегментах сети при имеющейся структуре землепользования. Наиболее подходящий для решения этой задачи инструмент — классическая четырехэтапная транспортная модель [Воробьев и др., 2015; Bates, 2000; Швецов, 2003; 2009], которая на основании входных данных — жилых площадей W_k^j и мест приложения труда и обслуживания населения W_k^l , $k = \overline{1, n}$ — выдает значения интенсивностей транспортных потоков $f = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ для каждого сегмента сети $u_i \in U$, $i = \overline{1, m}$. Далее подразумевается, что прогнозы транспортных потоков рассчитываются в соответствии с указанной моделью^{2,3}.

4.3. Задача выбора пропускных способностей коммуникационных элементов

Продолжительность поездки по сегменту УДС зависит от его загруженности, максимальная загруженность определяется пропускной способностью. Следовательно, минимальная продолжительность поездки напрямую зависит от пропускных способностей сегментов УДС.

В данной модели приводится решение макроуровня — принципиальные решения, методы определения оптимальных значений пропускных способностей. Решения микроуровня, технические решения (обеспечение пропускных способностей путем установления параметров протяженности сегмента сети, количества полос, размещения светофоров, дорожных знаков и пр.) находятся за пределами рассматриваемой задачи.

Содержательно задача развития УДС состоит из двух подзадач:

– выбор пропускных способностей отдельных сегментов существующей УДС;

- 2 Четырехэтапная транспортная модель традиционно состоит из последовательного выполнения следующих этапов: генерация поездок — распределение поездок — расщепление поездок по видам транспорта — наложение транспортных потоков на сеть (распределение корреспонденций по маршрутам). На третьем этапе для каждой пары территорий отправления и прибытия определяется вероятность использования того или иного вида транспорта для осуществления поездки (личного автомобиля, такси, общественного транспорта и т.д.). Однако в представленной в настоящей статье модели принято допущение об одном виде используемого транспорта — личном автомобиле. Следовательно, на текущем уровне детализации предлагаемой модели третий этап транспортной модели можно опустить. Решение «полной» версии задачи прогнозирования транспортных потоков будет заключаться в суммировании результатов четвертого этапа по отдельным видам транспорта для каждого элемента сети. Аналогичным образом могут быть учтены и грузовые перевозки, с тем исключением, что для них также предварительно производятся и самостоятельные вычисления на всех этапах.
- 3 Поскольку для определения времени поездки используется BPR-модель, особую роль приобретает расчет значений $t = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ для пиковых нагрузок на УДС, то есть максимальных значений $f = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ (что чаще всего имплицитно подразумевается при решении аналогичных транспортных задач и построении операционных транспортных моделей): учет максимальных значений транспортных потоков даст более экстремальную картину с точки зрения взаимной временной доступности городских объектов различного функционала. При этом структурно алгоритмы разрабатываемой модели никаких изменений не претерпят. Таким образом, для учета указанного фактора, на первом этапе в четырехэтапной модели определяется не среднесуточная генерация поездок, то есть содержательно, матрица корреспонденций, а матрица, соответствующая часу пик — утреннему (чаще) или вечернему.

– принятие решений о строительстве нового сегмента.

Определение пропускной способности сегмента УДС является предметом давних обсуждений [Kalae, 2010]; наиболее универсальное для макро моделирования определение описывает пропускную способность сегмента как «предел» его «транспортонесущей (vehicle-carrying) возможности» [Lorenz, Elefteriadou, 2001].

Рассмотрим задачу выбора пропускных способностей коммуникационных элементов ГС $G = (V, U)$ в следующей постановке.

Считаем, что публичная сторона располагает бюджетом в объеме S . Суммарная продолжительность поездок по всей УДС при прогнозируемых потоках $f = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ выражается как

$$T = \sum_{k=1}^m [t'_{ok} (1 + \alpha (\frac{f_k}{c_k})^\beta) + t''_{ok} (1 + \alpha (\frac{f_k}{c_k})^\beta)],$$

где f'_k и f''_k – потоки, проходящие по дугам ребра $u_k \in U$ в противоположных направлениях, t'_{ok} и t''_{ok} – продолжительности поездок в свободном потоке по соответствующим дугам, $k = \overline{1, m}$. Как было показано, T – оптимальный критерий оценки эффективности организации пространственно-планировочной структуры ГС.

Для транспортных сетей типичен случай несимметричных потоков, а пропускные способности дуг в двух направлениях, составляющих ребро, как правило, одинаковы. Задача оптимального выбора пропускных способностей дуг графа транспортной сети с условием равенства их значений для разнонаправленных дуг одного ребра заключается в следующем.

Необходимо определить такие значения пропускных способностей $c = (c_1, c_2, \dots, c_m)$ сегментов УДС, что суммарная продолжительность поездок по ним минимальна, а их суммарная стоимость не превышает заданной величины, то есть которые минимизируют функцию T и удовлетворяют ограничениям

$$\sum_{k=1}^m (a_k c_k + b_k) \leq S,$$

$$c_k > \bar{f}_k, k = \overline{1, m}.$$

Для этой задачи существует точное и единственное численное решение, которое обладает некоторой трудоемкостью. Также было получено приближенное решение в аналитическом виде, которое обладает малой погрешностью и применение которого позволит сократить время имплементации модели. Таким образом, решение поставленной задачи заключается в следующем [Гостев, Хабибуллин, 2014а; Гостев, Хабибуллин, 2014б].

1. Для каждого сегмента УДС определяется максимальный из двух противоположно направленных транспортных потоков:

$$\bar{f}_k = \max \{f'_k, f''_k\}, k = \overline{1, m}$$

Считаем, не ограничивая общности, что все $\bar{f}_k > 0$.

2. Вычисляется

$$S_0 = \sum_{k=1}^m (a_k \bar{f}_k + b_k),$$

минимальная сумма бюджетных средств, которая необходима, чтобы обеспечить пропускные способности всех сегментов дорожно-транспортной сети при прогнозируемой нагрузке.

3. Вычисляется

$$\Delta S = S - S_0.$$

Если публичная сторона располагает средствами $S > S_0$, то задача заключается в оптимальном распределении средств ΔS между всеми коммуникационными элементами при прогнозируемой нагрузке.

4. Положим в качестве $f_k, k = \overline{1, m}$ одно из следующих выражений:

$$f_k = \bar{f}_k = \max \{f'_k, f''_k\}; \tag{1}$$

$$f_k = \frac{1}{2} (f'_k + f''_k); \quad (2)$$

$$f_k = \sqrt{(f'_k f''_k)}, \text{ если } \min \{f'_k, f''_k\} > 0. \quad (3)$$

5. Оптимальная пропускная способность каждого сегмента сети $u_i \in U, i = \overline{1, m}$ рассчитывается как

$$c_k = \frac{\Delta S + \sum_{k=1}^m a_k f_k}{\sum_{k=1}^m a_k} \sqrt[\beta+1]{\frac{\sum_{k=1}^m a_k f_k^\beta t_{0k}}{\sum_{k=1}^m a_k f_k^\beta t_{0k}}}. \quad (4)$$

Если в формуле (4) при $S > S_0$ в качестве $f_k, k = \overline{1, m}$ взять выражение (1), (2) или (3), то получающиеся в каждом из этих случаев значения $c = (c_1, \dots, c_m)$ удовлетворяют всем ограничениям задачи выбора пропускных способностей сегментов сети, так как выполняются условия $c_k > \bar{f}_k$ для всех $k = \overline{1, m}$ и $S = \sum_{k=1}^m (a_k c_k + b_k)$, и такие значения $c = (c_1, \dots, c_m)$ являются допустимыми решениями задачи.

Для оценки относительных погрешностей приближенных решений, получаемых по формуле (4) с использованием выражений (1), (2) и (3) соответственно, были проведены вычислительные эксперименты с тестовыми примерами. Они показали, что когда возможно использование приближенных решений, можно получить решение вычислением по этой формуле с использованием (2) или (3) вместо трудоемкого численного решения задачи [Гостев, Хабибуллин, 2014а; Гостев, Хабибуллин, 2014б].

Модель позволяет осуществлять поиск решения не для всех элементов УДС, а для некоторого подмножества. При принятии окончательного решения о выборе пропускных способностей сегментов УДС необходимо принимать во внимание предварительно определенные предельные значения пропускных способностей всех возможных дуг транспортного графа.

4.4. Принятие решения о строительстве нового сегмента УДС ГС

Существующие операционные городские модели и интегрированные модели в большей степени являются моделями землепользования, в которых транспортный компонент в лучшем случае представлен классической четырехступенчатой транспортной моделью, а в худшем не представлен в явном виде; изменения топологии УДС не репрезентируются ни в каком случае. Для учета топологической конфигурации транспортной сети сформулируем задачу для ГС $G = (V, \bar{U})^4$ следующим образом.

Задана ГС в виде графа, где множеству вершин $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ соответствует множество территориальных элементов, а множеству дуг $\bar{U} = (\bar{u}_1, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_{m+r})$ — множество всех возможных коммуникационных элементов. При этом $\bar{U} = U \cup \bar{U}$, где $U = (u_1, u_2, \dots, u_m)$ — множество существующих сегментов, а $\bar{U} = (\bar{u}_1, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_r)$ — множество дуг, у которых в текущий период времени пропускная способность равна нулю, но существует возможность строительства соответствующего сегмента сети.

Считаем, что известны прогнозируемые транспортные потоки $f = (f_1, f_2, \dots, f_m)$, а также соответствующие значения продолжительностей поездок $t = (t_1, t_2, \dots, t_m)$ для каждой дуги.

Поскольку строительство нового сегмента УДС имеет долгосрочный эффект, принятие решения должно быть обосновано с точки зрения целесообразности и эффективности. Так как главным критерием оценки эффективности организации УДС является суммарная продолжительность поездок, новый сегмент должен настолько сокращать значение этого критерия, что затраты на его строительство будут целесообразны и с точки зрения финансирования, и с точки зрения использования пространственных резервов.

Пусть ΔT_{eff} — экономия времени, которая отвечает таким требованиям; поскольку принятие решений публичной стороной представляет целевую сторону программно-прогнозной модели, значение ΔT_{eff} задается нормативным образом.

4 Множество \bar{U} определено в соответствии с параграфом «3.3. Описание эволюционного развития ГС» настоящей статьи.

Алгоритм принятия решения о строительстве нового сегмента сети будет иметь следующий вид.

1. Вычисляется суммарная продолжительность поездок по всем существующим сегментам УДС при прогнозируемых потоках:

$$T^0 = \sum_{k=1}^m t_k.$$

2. Для каждой дуги подграфа возможных соединений $\tilde{u}_i \in \tilde{U}$, $i = \overline{1, r}$ осуществляется следующая последовательность шагов.

2.1. Осуществляется включение дуги \tilde{u}_i в граф U : $\tilde{u}_i \in U$, $\tilde{u}_i \notin \tilde{U}$.

2.2. С применением четырехступенчатой транспортной модели осуществляется оптимальное распределение потоков $f = (f_1, f_2, \dots, f_{m+1})$.

2.3. С применением ВРР-модели рассчитывается продолжительность поездок по сегментам новой сети, $t = (t_1, t_2, \dots, t_{m+1})$.

2.4. Вычисляется суммарная продолжительность поездок по всей новой УДС с учетом «временно» включенной дуги \tilde{u}_i

$$T^i = \sum_{k=1}^{m+1} t_k.$$

2.5. Рассчитывается разница между суммарным временем поездок по всем сегментам сети до включения новой дуги \tilde{u}_i в сеть и после:

$$\Delta T^i = T^0 - T^i.$$

3. Каждой дуге-кандидату на включение $\tilde{u}_i \in \tilde{U}$, $i = \overline{1, r}$ ставится в соответствие значение времени ΔT^i , которое будет сэкономлено в случае включения дуги в граф. В множестве $\{\Delta T^1, \Delta T^2, \dots, \Delta T^r\}$ находим i , при котором разница между суммарной продолжительностью поездок до включения дуги $\tilde{u}_i \in \tilde{U}$ и после максимальна:

$$i: \Delta T^i = \max \{\Delta T^1, \Delta T^2, \dots, \Delta T^r\}.$$

Экономия времени ΔT^i — наибольший эффект, возможный при включении одной из возможных дуг в транспортный граф.

4. Если

$$\Delta T^i \geq \Delta T_{\text{eff}}$$

то происходит окончательное включение дуги \tilde{u}_i в граф U : $\tilde{u}_i \in U$, $\tilde{u}_i \notin \tilde{U}$. Затем проводится процедура выбора пропускных способностей сегментов УДС.

5. Жилищный сектор

5.1. Оценка градостроительного потенциала территории

На первом этапе действий агентов жилищного сектора осуществляется оценка градостроительного потенциала территории, который определяется как суммарная численность мест приложения труда и обслуживания населения на территориях, попадающих в изохрону времени комфортной доступности рассматриваемой территории. Потенциал территории характеризует транспортную доступность для бизнеса и управления «рабочих рук» и пользователей объектов как меру экономической привлекательности территории для размещения и развития соответствующих объектов. Чем выше градостроительный потенциал территории, тем она социально привлекательнее для проживания и выгоднее для размещения нового жилищного фонда [Баевский, 1989].

Рассмотрим задачу оценки градостроительного потенциала жилых территорий ГС $G = (V, U)$ в следующей формулировке.

Для каждого сегмента $u_i \in U$, $i = \overline{1, m}$ заданы значения его пропускной способности c_i и интенсивности транспортного потока f_i .

Для каждого жилого территориального элемента $v_k \in V$, $k = \overline{1, n}$, заданы значения занятых жилых площадей W_k^H и доступных рабочих мест $D_k^l - W_k^l$.

Объекты обслуживания и места приложения труда имеют транспортные связи не с одной жилой территорией, а с несколькими; градостроительный потенциал территории рассчитывается как доля связности с местами приложения труда, находящимися в изохроне комфортной транспортной доступности рассматриваемой территории, которая приходится непосредственно на жилые площади этой территории.

В первую очередь определяется количество всех рабочих мест, находящихся в пределах изохрона времени комфортной доступности от рассматриваемой территории следующим образом.

1. Для каждого сегмента УДС $u_i \in U$, $i = \overline{1, m}$ рассчитывается продолжительность поездки t_i .
2. Для каждого территориального элемента $v_k \in V$, такого что $D_k^l \neq 0$, осуществляется следующая последовательность действий, $k = \overline{1, n}$.

2.1. С помощью алгоритма поиска кратчайших путей в графе [Кристофидес, 1978] определяются кратчайшие пути от вершины $v_k \in V$ до всех остальных вершин $v_l \in V$, $l = \overline{1, n - 1}$; в качестве длины дуги $u_i \in U$, $i = \overline{1, m}$ используется продолжительность поездки t_i . Так каждой вершине $v_l \in V$, $l = \overline{1, n - 1}$ ставится в соответствие продолжительность поездки t_l^v до нее от вершины $v_k \in V$.

2.2. Выбираются все вершины $v_l \in V$, такие что $t_l^v < t_{\max}$. Подмножество вершин $V^q = \{v_1, v_2, \dots, v_q\}$, $V^q \subset V$, находится в изохроне времени комфортной доступности от рассматриваемой вершины $v_k \in V$.

2.3. Суммируются площади свободных рабочих мест на рассматриваемой территории и в пределах ее изохрона времени комфортной доступности:

$$W_k^{\text{total}} = D_k^l - W_k^l + \sum_{l=1}^q (D_l^l - W_l^l); v_l \in V^q.$$

Рабочие места, приведенные к количеству человек, выражаются как $W_k^{\text{total}} / \text{norm}^l$.

Определим аналогичным образом связность N_k^H территории $v_k \in V$ с населением прочих территориальных элементов, находящихся в ее изохроне, с населением, с которым жители территории $v_k \in V$ делят рабочие места W_k^{total} :

$$N_k^H = W_k^H + \sum_{l=1}^q W_l^H; v_l \in V^q.$$

Доля рабочих мест, приходящихся на жилые площади территории $v_i \in V$, $i = \overline{1, n}$, определяется следующим образом.

1. Обеспеченность q_i территории $v_i \in V$ объектами обслуживания вычисляется согласно [Бабий, Каверин, Шмульян, 1984] как

$$q_i = \sum_k \left(\frac{W_k^l}{N_k^H} \right); v_k \in V^q.$$

2. Средняя обеспеченность местами приложения труда и обслуживания населения (в том числе других районов), связанного с объектами, расположенными в изохроне комфортной доступности рассматриваемого района, рассчитывается согласно [Бабий, Каверин, Шмульян, 1984] как

$$M_i = \sum_k \left(\frac{W_k^H q_k}{N_i^H} \right); v_k \in V^q.$$

3. Доля γ_i связности с местами приложения труда, которая приходится на территорию $v_i \in V$, вычисляется как

$$\gamma_i = \frac{W_i^H}{\text{norm}^H} M_i.$$

4. Количество рабочих мест W_i^q , которое приходится на территорию $v_i \in V$ и которое выражено в количестве людей, рассчитывается как

$$W_i^q = \gamma_i \frac{W_i^H / \text{norm}^H}{W_i^{\text{empl}}},$$

где W_i^{empl} — количество трудоспособных людей, проживающих на рассматриваемой территории.

5.2. Оценка диспропорции и принятие решения

Для решения о последующем развитии территории $v_i \in V$ оцениваются диспропорции значений ее насыщенности и связности, $i = \overline{1, n}$.

В качестве насыщенности территории принимается площадь занятых жилых помещений в составе жилищного фонда территории, выраженная в количестве проживающих людей W_i^H / norm^H . Связность жилой территории с местами приложения труда и обслуживания населения выражается в количестве рабочих мест W_i^q , находящихся в изохроне комфортной транспортной доступности, которые приходятся на эту территорию.

При оценке также необходимо учитывать физические резервы развития территории D_i .

Итак, если

$$\frac{W_i^H}{\text{norm}^H} < W_i^q,$$

то у территории есть резервы развития; возможно увеличение объема занятых жилых площадей в размере (квадратных метрах)

$$\Delta W = W_i^q \text{norm}^H - W_i^H.$$

Если

$$D < W_i^q,$$

то также целесообразно дальнейшее жилищное строительство на территории.

Если

$$\frac{W_i^H}{\text{norm}^H} > W_i^q,$$

то ресурсы жилой территории исчерпаны. Необходимо развивать места приложения труда и обслуживания населения на территориях в пределах комфортной транспортной доступности.

Особенностью расчета территориальных диспропорций и отличием от инструментария территориально-коммуникационной модели является то, что в данном случае оценки диспропорций не относительные матрично-оценочные, а выражены в абсолютном, количественном виде.

6. Общественно-деловой сектор

Действия агентов общественно-делового сектора в целом аналогичны действиям агентов жилищного сектора и разворачиваются в три этапа: оценка градостроительного потенциала территории, оценка диспропорции территории, принятие решения.

Ключевое отличие заключается в определении градостроительного потенциала. Градостроительный потенциал каждой территории общественно-делового сектора количественно определяется как суммарная численность населения, которое проживает на территориях, попадающих в изохрону времени комфортной доступности территории. Потенциал территории характеризует транспортную доступность для жителей рабочих мест, товаров и услуг как укрупненную меру социального комфорта проживания на территории. Чем выше потенциал территории, тем она привлекательнее для размещения мест приложения труда и объектов обслуживания населения [Баевский, 1989].

7. Положение эвристической эволюционной модели ГС в структуре знаний о городе

Приведенная модель — пример того, как в рамках общей теории городского развития последовательно уточняются инструменты моделирования городских процессов до нужного уровня

детализации. В силу принципа построения можно утверждать, что модель относится к классу эвристических и приводит к близкому к оптимальному решению.

В фундаменте модели лежит построенная на базе системного подхода в градостроительстве теория общего городского развития [Гутнов, 1985]. Территориально-коммуникационная модель ГС — первый этап «уточнения»: она содержит детализацию теории, воплощенную в многократно апробированном инструментарии. На втором этапе «уточнения» происходит привлечение элементов транспортного планирования, а также адаптация концептуальной структуры интегрированных моделей систем землепользования и транспорта.

Используемый метод выбора пропускных способностей сегментов УДС доставляет близкие к оптимальным решения, так как они получены методом математического программирования.

Даже в случае точных математических формулировок задач и методов решений они имеют смысл, только если параметр времени в действительности является важным критерием; иными словами, если развитие ГС происходит в направлении повышения уровня ее коммуникативности, выраженной в формуле «максимум возможностей при минимуме передвижений». В конечном итоге любое решение, даже обладая формальной строгостью, базируется на главной гипотезе о целевой функции города.

На рис. 4 изображено положение разработанной модели ГС в пространстве общего знания о городе.



Рис. 4. Положение эволюционной эвристической модели ГС в структуре знаний о городе

Источник: схема составлена автором.

8. Процесс управления развитием города с применением эволюционной эвристической модели ГС

Для оценки перспектив внедрения разработанной модели в процесс принятия решений обратимся к следующим положениям:

- положения А. Гутнова о повышении эффективности градостроительной деятельности [Гутнов, 1984];
- положения А. Высоковского о внедрении экстраполяционного прогноза в градостроительное проектирование [Высоковский, 1986].

С учетом указанных методик проектирования и прогнозирования процесс управления развитием ГС с применением эвристической эволюционной модели содержит следующие этапы.

8.1. Обоснование проектных решений

В настоящее время градостроительное проектирование сопряжено с расчетами и методиками, которые учитывают территориальные, демографические, социальные, экономические,

экологические факторы. Однако теория, которая объясняла бы взаимосвязь между социально-экономическими и функционально-пространственными аспектами, развита слабо. Существующие отраслевые расчеты и методики большей частью слабо связаны и неэффективны на стадии выработки принципиальных решений. Ключевой этап градостроительного проектирования, определение наиболее эффективной структурно-функциональной организации ГС, во многом опирается на субъективные экспертные суждения.

Общая теория городского развития, в свою очередь, дает возможность обобщенно оценить текущее состояние системы и прогнозировать изменения в результате реализации проектных решений. Теоретическая модель предлагает инструменты количественной оценки организации системы; этим обеспечивается конструктивное использование модели в практической деятельности. Тем же свойством обладает и практическая операционная модель, которая построена на фундаменте такой теории и, следовательно, выдает объективные, теоретически обоснованные проектные решения.

На этапе анализа существующего положения осуществляется объективная оценка состояния ГС на момент принятия решений о проведении градостроительных преобразований. Особое внимание должно быть уделено оценке территориальных элементов — параметров насыщенности и связности, а также построению транспортной модели системы — определению спроса на поездки для каждой из территорий.

В качестве ядра обоснования проектного решения может выступать «генеральная схема» развития города, которая опирается на результаты имплементации эвристической эволюционной модели. Генеральная схема содержит основные направления долгосрочного функционально-пространственного развития ГС с учетом целей и ресурсов. Необходимость создания такого документа, а также его принципиальное содержательное отличие от проекта генплана также было обосновано А. Гутновым [Гутнов, 1984]. Хотя разработка генеральной схемы не входит в структуру градостроительной деятельности, ее создание позволило бы развести принципиальные стратегические положения проекта генплана от деталей, связанных с тактическими планами его реализации.

Результат прогноза не может «автоматически» переноситься в проект, поскольку не учитывает внешние управляющие воздействия на систему. Разработка генеральной схемы содержательно должна включать оценку и отбор тех решений, чья реализация ведет к достижению программных целей. Проектное решение вырабатывается путем сближения целенаправленного преобразования и естественного развития, поэтапным сопоставлением, совмещением по срокам и по территориальной локализации.

8.2. Программа реализации генерального плана

Хотя программа реализации генерального плана исключена из перечня обязательных в соответствии с Градостроительным кодексом РФ работ, осталась практика подготовки как минимум «первой очереди». В качестве территорий, на которых следует осуществлять первоочередные градостроительные действия, следует выбирать те, на которых проектные решения совпадают с прогнозируемым вариантом [Высоковский, 1986]. Реализация мероприятий на этих территориях будет наиболее эффективна как с точки зрения использования имеющихся ресурсов, так и с точки зрения организации самих мероприятий.

На последующих этапах использование модели может служить для динамичной корректировки проекта в текущем режиме, вследствие необходимости исполнения дополнительных решений, а также наличия либо недостатка ресурсов, не выявленных на этапе предварительного анализа.

Разработанная модель может служить для выработки эталонного проекта, оптимального с точки зрения целеполагания, учета эволюционной составляющей городского развития, наиболее эффективного использования имеющихся ресурсов. Реальный проект может оцениваться в сравнении с эталонным по всем указанным позициям и по мере возможности путем корректировок приближаться к нему.

На рис. 5 приведена графическая схема процесса управления развитием города с применением разработанной эволюционной эвристической модели ГС.

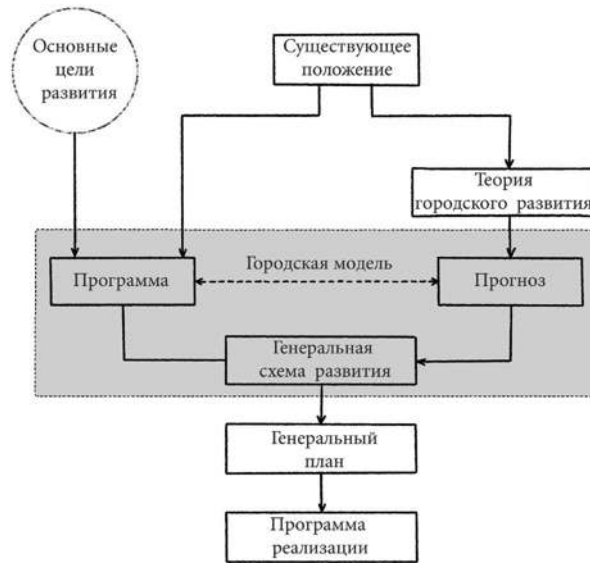


Рис. 5. Процесс управления развитием города с применением эволюционной эвристической модели ГС

Источник: схема составлена автором.

Заключение

Задача разработки эвристической эволюционной модели ГС была сформулирована исходя из проблемы недостаточной обоснованности транспортной политики в области физической реорганизации УДС российских городов. Поскольку город — динамическая развивающаяся система, а ее основные составные части, системы землепользования и транспорта, непрерывно влияют друг на друга, разработка проектов для каждой из подсистем в отдельности быстро утрачивает актуальность; и наоборот, согласованное в пространстве и синхронизированное во времени планирование этих двух подсистем обеспечивает устойчивость проектных решений в целом.

Был предложен подход, в рамках которого задача проектирования эффективной пространственно-функциональной организации той или иной городской подсистемы формулируется как частная задача проектирования ГС в целом, что обеспечивает преемственность подхода к проектированию и разработке моделей; с этой же целью был сформулирован подход к разработке прикладной модели как «уточнения» ряда методик территориально-коммуникационной модели, которая, в свою очередь, базируется на фундаменте каркасно-тканевой модели города; при этом разработанные инструменты обладают свойством универсальности, то есть не зависят от конкретной моделируемой территории.

В частности, в процессе разработки обозначенной эволюционной эвристической модели ГС были получены следующие методические результаты.

1. Был преодолен отраслевой подход к транспортному компоненту моделей, выраженный в отсутствии явной репрезентации динамики физических городских УДС.

2. На основе включения явной репрезентации УДС была уточнена методика территориально-коммуникационной городской модели в части численных расчетов показателей территориальных оценок связности.

3. Был разработан прогностный модуль, учитывающий эволюционные тенденции развития города, реализуемые частной стороной, — пространственно-временное движение мест проживания населения и мест приложения труда и обслуживания навстречу друг другу, мотивируемое путем повышения транспортной доступности и тех, и других.

4. Был разработан целевой модуль, за реализацию мероприятий по проектным решениям которого ответственна публичная сторона. Модель вырабатывает оптимальные параметры проекта УДС (пропускные способности сегментов сети, решения о топологической реорганизации) вследствие прогнозируемого изменения интенсивности использования городских территорий.

Следующим этапом работы в данной области наиболее перспективным представляется программная реализация представленной модели ГС и ее калибровка на реальных эмпирических данных, собранных на материале крупного города.

Источники

- Бабий А.В., Каверин А.Р., Шмульян Б.Л. (1984) Принципы организации диалога для формирования стратегии размещения обслуживающих центров в крупнейшем городе // Элементы диалоговой системы анализа и управления развитием города. Сборник трудов. Вып. 14. М.: ВНИИСИ. С. 49–57.
- Баевский О.А. (1989) Закономерности непрерывного развития жилой среды крупнейшего города (на примере Москвы) // Экология города и проблемы управления. Москва.
- Баевский О.А. (2001) Эволюционный подход к управлению градостроительным развитием крупнейшего города. Московский опыт // Градостроительство России XXI века. Сборник научных статей РААСН. М.: Московские учебники и картолитография.
- Белянин А. (2015) Удовольствие от пробок: поведенческая экономика о транспортной реформе // Стимулы, парадоксы, провалы: город глазами экономистов. М.: Strelka Press. С. 136–159.
- Берж К. (1962) Теория графов и ее применения. М.: Иностранная литература.
- Блинкин М.Я. (2015) Качество планирования городских транспортных сетей в зеркале классических моделей теории транспортного потока // Городские исследования и практики. Пилотный выпуск. С. 55–66.
- Бочаров Ю.П., Кудрявцев О.К. (1972) Планировочная структура современного города. М.: Стройиздат.
- Воробьев А.Э., Титов А.Ю., Гаврилин В.А., Меньшутин А.Ю., Бахирев И.А. (2015) Транспортная модель Московского региона // Вычислительные технологии в естественных науках. Методы суперкомпьютерного моделирования. Сборник трудов. М.: ИКИ РАН. С. 49–62.
- Высоковский А.А. (2005) Правила землепользования и застройки: руководство по разработке. Опыт введения правового зонирования в Кыргызстане. Бишкек: Ега-Басма.
- Высоковский А.А. (1986) Пространственное прогнозирование застройки сложившихся городов. Серия: Гражданское строительство и архитектура. М.: ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре.
- Глазычев В.Л. (2008) Урбанистика. М.: Европа.
- Гольц Г.А. (1981) Транспорт и расселение. М.: Наука.
- Госстрой СССР (1985) СНиП II-60-75**. Планировка и застройка городов, поселков и сельских населенных пунктов. М.: ЦИТП Госстроя СССР.
- Гостев М.В. (2018) Об эвристической природе моделей эволюционного городского развития // Городские исследования и практики. Т. 3. №1. С. 7–22.
- Гостев М.В., Хабибуллин Р.Ф. (2014а) Об оптимальном выборе пропускных способностей каналов транспортных сетей // Системы управления и информационные технологии. № 2.1 (56). С. 120–124.
- Гостев М.В., Хабибуллин Р.Ф. (2014б) Об одной задаче оптимального выбора пропускных способностей каналов транспортных сетей // Проблемы теоретической кибернетики: Материалы XVII международной конференции. Казань: Отечество. С. 69–72.
- Гутнов А.Э. (1984) Эволюция градостроительства. М.: Стройиздат.
- Гутнов А.Э. (1985) Системный подход в изучении города: основания и контуры теории городского развития // Системные исследования. Методологические проблемы. М.: Наука. С. 211–232.
- Кристофидес Н. (1978) Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир.
- Оре О. (1980) Теория графов. М.: Наука.
- Тархов С.А. (2005) Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск–Москва: Универсум.
- Тимерханов А.В. (2017) России на тысячу жителей приходится 288 легковых автомобилей // Автостат. Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/29682/> (дата обращения: 01.05.2017).
- Швецов В.И. (2009) Алгоритмы распределения транспортных потоков // Автоматика и телемеханика. №10. С. 148–157.
- Швецов В.И. (2003) Математическое моделирование транспортных потоков // Автоматика и телемеханика. №11. С. 3–46.
- Шелейховский Г.В. (1946) Композиция городского плана как проблема транспорта. М.: ГИПРОГОР.
- Acheampong R., Silva E. (2015) Land Use–Transport Interaction Modeling: A Review of the Literature and Future Research Directions // The Journal of Transport and Land Use. Vol. 8. No. 3. P. 1–28.
- Bates J. (2000) History of Demand Modeling // Handbook of Transport Modeling. Amsterdam; Oxford: Pergamon. P. 11–33.
- Batty M., Xie Y. (1994) From Cells to Cities // Environment and Planning B. No. 21. P. 31–48.

- Bureau of Public Roads (1964) Traffic Assignment Manual. Washington, D.C.: U.S. Bureau of Public Roads.
- Cervero R., Kockelman K. (1997) Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design//Transportation Research Part D: Transport and Environment. Vol. 2. No. 3. P. 199–219.
- Chang J. (2006) Models of the Relationship between Transport and Land-Use: A Review//Transport Reviews. No. 26. P. 325–350.
- Dowling R., Skabardonis A. (1993) Improving the Average Travel Speeds Estimated by Planning Models//Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. No. 1360. P. 68–74.
- Ding R., Ujang N., Hamid H., Manan M.S.A., Li R., Wu J. (2017) Heuristic Urban Transportation Network Design Method. A Multilayer Coevolution Approach//Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. Vol. 479. P. 71–83.
- Gallo M., D'Acerno L., Montella B. (2010) A Meta-Heuristic Approach for Solving the Urban Network Design Problem//European Journal of Operational Research. Vol. 201. No. 1. P. 144–157.
- Geurs K., Wee B. (2004) Accessibility Evaluation of Land-Use and Transport Strategies: Review and Research Directions//Journal of Transport Geography. No. 12. P. 127–140.
- Jenks M., Burton E., Williams K. (1996) The Compact City: A Sustainable Urban Form? London: E & FN Spon.
- Kalae M.S. (2010) Investigating Freeway Speed-Flow Relationships for Traffic Assignment Applications//Dissertations and Theses. Paper 33. Portland State University.
- Kozlov V.V., Buslaev A.P. (2012) Metropolis Traffic Modeling: From Intelligent Monitoring Through Physical Representation to Mathematical Problems//Proc. International Conference on Computational and Mathematical Methods in Science and Engineering. Almeria, Spain. Vol. 1. P. 750–756.
- Koncheva E., Zalesskiy N. (2016) Spatial Development of the Largest Russian Cities during the Post-Soviet Period: Orienting Towards Transit or Maintaining Soviet Trends. Basic research program. National Research University Higher School of Economics. Режим доступа: <https://www.hse.ru/data/2016/07/13/1116450809/04URB2016.pdf> (дата обращения: 01.05.2017).
- Lorenz M.R., Elefteriadou L. (2001) Defining Freeway Capacity as Function of Breakdown Probability//Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Vol. 1776. P. 43–51.
- Lowry I. (1964) A Model of Metropolis. Santa Monica, CA: RAND Corporation.
- Manley E.J., Orr S.W., Cheng T. (2015) A Heuristic Model of Bounded Route Choice in Urban Areas//Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Vol. 56. P. 195–209.
- Marchetti C. (1994) Anthropological Invariants in Travel Behavior//Technological Forecasting and Social Change. Vol. 47. No. 1. P. 75–88.
- Navarro-Ligero M.L., Soria-Lara J.A., Valenzuela-Montes L.M. (2019) A Heuristic Approach for Exploring Uncertainties in Transport Planning Research//Planning Theory & Practice. Vol. 20. No. 4. P. 537–554.
- Romanycia M.H.J., Pelletier F.F. (1985) What is a Heuristic?//Computational Intelligence. Vol. 1. No. 1. P. 47–58.
- Stanilov K. (2007) Democracy, Markets, and Public Space in the Transitional Societies of Central and Eastern Europe//The Post-Socialist City. Urban Form and Space Transformations in Central and Eastern Europe after Socialism. Dordrecht: Springer. P. 269–284.
- Suwansirikul C., Friesz T.L., Tobin R.L. (1987) Equilibrium Decomposed Optimization: A Heuristic for the Continuous Equilibrium Network Design Problem//Transportation Science. Vol. 21. No. 4. P. 254–263.
- Switzer A., Bertolini L., Grin J. (2013) Transitions of Mobility Systems in Urban Regions: A Heuristic Framework//Journal of Environmental Policy & Planning. Vol. 15. No. 2. P. 141–160.
- Wegener M. (2004) Overview of Land-Use Transport Models//Handbook of Transport Geography and Spatial Systems. No. 5. P. 127–146.
- Xie F., Levinson D. (2011) Evolving Transportation Networks. New York: Springer.

MAKSIMILIAN GOSTEV
**THE EVOLUTIONARY
DEVELOPMENT OF URBAN
LAND-USE AND TRANSPORT
SYSTEMS:
HEURISTIC MODEL ENGINEERING**

Maksimilian V. Gostev, MA in Urban Planning (Vysokovsky Graduate School of Urbanism, HSE University); Chief of Transportation Planning Department in “Kazgrazhdanproject” Institute; Assistant in Geography and Cartography Department of Kazan Federal University, Specialist in Applied Mathematics and Computer Science in Kazan Federal University; 35/10 Dostoevsky str., Kazan, 420012, Russian Federation, tel.: +7 (987) 418-88-76
E-mail: mailtogmv@gmail.com

Abstract

This article investigates the development of the heuristic urban model, or the model of urban systems. According to the approach, the design of an efficient spatial-functional organization in any urban subsystem is formulated as a special case of designing the system as a whole. This ensures the continuity of the approach in relation to the applied model engineering, and in relation to developing theoretical statements. To this end, heuristic urban model engineering is implemented as an elaboration of several instruments of the territorial-communicational model, which in turn is based on Gutnov's carcass-fabric model.

The static, dynamic and evolutionary states of the model are described and the combined characteristics of the model are discussed. The regulating and forecasting features of the model allow a balance of long-term strategic goals and short-term tactical tasks, planned decisions and natural urban development. A criterion for the evaluation of system spatial organization is presented. The land-use and transportation systems, as well as private and public agents are distinguished.

The mechanisms of the model are formulated in terms of relatively independent subproblems. The problem of optimal housing and workplace spatial allocation is presented for the land-use system. The evaluations are based on the indices of urban territorial potential and spatial disproportions. The problems of optimal network link capacity and network connectivity improvement are presented for transportation networks. Algorithms for each of these subproblems are proposed.

The position of the engineered model in the structure of the urban science is presented, according to the system approach in urban planning. The model applications for the management of urban development are described. The cases of project proposals justification and program of general plan implementation development are given as examples.

Instruments validated within the model have the property of universality: they do not depend on the specifications of the modeled territory.

Key words: urban models; transport models; urban systems; urban dynamics; heuristic models; urban evolution

Citation: Gostev M. (2019) Evolutionary Development of Urban Land-Use and Transport Systems: Heuristic Model Engineering. *Urban Studies and Practices*, vol. 4, no 4, pp. 70–92. (in Russian) DOI: <https://doi.org/10.17323/usp44201970-92>

References

- Acheampong R., Silva E. (2015) Land Use–Transport Interaction Modeling: A Review of the Literature and Future Research Directions. *The Journal of Transport and Land Use*, vol. 8, no 3, pp. 1–28.
- Babij A.V., Kaverin A.R., Shmul'yan B.L. (1984) Principy organizacii dialoga dlya formirovaniya strategii razmeshcheniya obsluzhivayushchih centrov v krupnejšem gorode [Principles of Dialog Organisation in Strategic Planning of Service Centers Allocation in the Largest City]. *Elementy dialogovoj sistemy analiza i upravleniya razvitiem goroda. Sbornik trudov. Vypusk 14* [Elements of a Dialogue System for Analyzing and Managing the Development of a City. Issue 14]. Moscow: VNIISI, pp. 49–57. (in Russian)

- Baevskiy O.A. (2001) Evolyucionniy podkhod k upravleniyu gradostroitel'nym razvitiem krupneyshego goroda. Moskovskiy opyt [Evolutionary Approach to Urban Planning Development of the Largest City. Case of Moscow]. *Gradostroitel'stvo Rossii XXI veka. Sbornik nauchnykh statey RAASN* [Russian urban planning in XXI century: Collection of Science Papers]. Moskva: Moskovskie uchebniki i kartolitografiya [Moscow: Textbooks and Kartolitografiya]. (in Russian)
- Baevskiy O.A. (1989) Zakonomernosti nepreryvnogo razvitiya zhiloy sredy krupneyshego goroda (na primere Moskvy) [Continous Development Regularity of the Largest City Habitat Environment (Case of Moscow)]. *Ekologiya goroda i problemy upravleniya* [Urban Ecology and Management Problems]. Moscow. (in Russian)
- Bates J. (2000) History of Demand Modeling. *Handbook of Transport Modeling*. Amsterdam; Oxford: Pergamon, pp. 11–33.
- Batty M., Xie Y. (1994) From Cells to Cities. *Environment and Planning B*, no 21, pp. 31–48.
- Belyanin A. (2015) Udovol'stvie ot probok: povedencheskaya ekonomika o transportnoy reforme [Traffic Jams Enjoyment: Behavioral Economics on Transport Reform]. *Stimuly, paradoksy, provaly: gorod glazami ekonomisty* [Stimuluses, paradoxes, failures: the city through the eyes of economist]. Moscow: Strelka Press, pp. 136–159. (in Russian)
- Berzh K. (1962) Teoriya grafov i ee primeneniya [Graph Theory and Its Applications]. Moskva: Inostrannaya literature [Moscow: Foreign Languages Publishing House]. (in Russian)
- Blinkin M.Y. (2015) Kachestvo planirovaniya gorodskikh transportnykh setey v zerkale klassicheskikh modeley teorii transportnogo potoka [Urban Network Design Quality in the Classical Models of the Traffic Flow Theory]. *Gorodskie issledovaniya i praktiki. Pilotniy vypusk* [Urban Studies and Practices. Pilot Issue], pp. 55–66. (in Russian)
- Bocharov Y.P., Kudryavcev O.K. (1972) Planirovochnaya struktura sovremennogo goroda [Modern City Planning Structure]. Moscow: Stroyizdat. (in Russian)
- Bureau of Public Roads (1964) Traffic Assignment Manual. Washington, D.C.: U.S. Bureau of Public Roads.
- Cervero R., Kockelman K. (1997) Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 2, no 3, pp. 199–219.
- Chang J. (2006) Models of the Relationship between Transport and Land-Use: A Review. *Transport Reviews*, no 26, pp. 325–350.
- Dowling R., Skabardonis A. (1993) Improving the Average Travel Speeds Estimated by Planning Models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no 1360, pp. 68–74.
- Ding R., Ujang N., Hamid H., Manan M.S.A., Li R., Wu J. (2017) Heuristic Urban Transportation Network Design Method, A Multilayer Coevolution Approach. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 479, pp. 71–83.
- Gallo M., D'Acerno L., Montella B. (2010) A Meta-Heuristic Approach for Solving the Urban Network Design Problem. *European Journal of Operational Research*, vol. 201, no 1, pp. 144–157.
- Geurs K., Wee B. (2004) Accessibility Evaluation of Land-Use and Transport Strategies: Review and Research Directions. *Journal of Transport Geography*, no 12, pp. 127–140.
- Glazychev V.L. (2008) Urbanistika [Urbanism]. Moskva: Evropa [Moscow: Europe]. (in Russian)
- Gol't G.A. (1981) Transport i rasselenie [Transport and Settlement]. Moskva: Nauka [Moscow: Publishing House Nauka]. (in Russian)
- Gosstroy SSSR (1985) SNiP II-60-75**: (1985) Planirovka i zastroyka gorodov, poselkov i sel'skikh naselennykh punktov [Cities, Villages and Settlements Planning and Development]. Moskva: CITP Gosstroya SSSR [Moscow: Gosstroy USSR Publishing House]. (in Russian)
- Gostev M. (2018) On the Heuristic Nature of Evolutionary Urban Development Models. *Urban Studies and Practices*, vol. 3, no 1, pp. 7–22 (in Russian)
- Gostev M.V., Khabibullin R.F. (2014a) Ob optimal'nom vybore propusknykh sposobnostey kanalov transportnykh setey [On Transport Networks Links Capacity Optimal Selection]. *Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii* [Management Systems and Information Technologies], no 2.1 (56), pp. 120–124. (in Russian)
- Gostev M.V., Khabibullin R.F. (2014b) Ob odnoy zadache optimal'nogo vybora propusknykh sposobnostey kanalov transportnykh setey [On Transport Networks Links Capacity Optimal Selection Problem]. *Problemy teoreticheskoy kibernetiki: Materialy XVII mezhdunarodnoy konferencii* [Theoretical Cybernetics Problems: Proceedings of XVII International Conference]. Kazan': Otechestvo, pp. 69–72. (in Russian)
- Gutnov A.E. (1984) Evolyuciya gradostroitel'stva [The Evolution of Urban Development]. Moscow: Strojizdat. (in Russian)
- Gutnov A.E. (1985) Sistemniy podkhod v izuchenii goroda: osnovaniya i kontury teorii gorodskogo razvitiya [System Approach to Urban Research: Basics of Urban Development Theory]. *Sistemnye issledovaniya. Metodologicheskaya problema* [System Research. Methodological Problems]. Moskva: Nauka [Moscow: Publishing House Nauka], pp. 211–232. (in Russian)

- Jenks M., Burton E., Williams K. (1996) *The Compact City: A Sustainable Urban Form?* London: E & FN Spon.
- Kalaei M.S. (2010) Investigating Freeway Speed-Flow Relationships for Traffic Assignment Applications. *Dissertations and Theses. Paper 33*. Portland State University.
- Kozlov V.V., Buslaev A.P. (2012) Metropolis Traffic Modeling: From Intelligent Monitoring Through Physical Representation to Mathematical Problems. *Proc. International Conference on Computational and Mathematical Methods in Science and Engineering*. Almeria, Spain, vol. 1, pp. 750–756.
- Koncheva E., Zalesskiy N. (2016) Spatial Development of the Largest Russian Cities during the Post-Soviet Period: Orienting towards Transit or Maintaining Soviet Trends. Basic Research Program. National Research University Higher School of Economics. Available at: <https://www.hse.ru/data/2016/07/13/1116450809/04URB2016.pdf> (accessed 01 May 2017).
- Kristofides N. (1978) *Teoriya grafov. Algoritmicheskiy podkhod [Graph Theory. Algorithmic Approach]*. Moskva: Mir [Moscow: Mir Publishing House]. (in Russian)
- Lorenz M.R., Elefteriadou L. (2001) Defining Freeway Capacity as Function of Breakdown Probability. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1776, pp. 43–51.
- Lowry I. (1964) *A Model of Metropolis*. Santa Monica, CA: RAND Corporation.
- Manley E.J., Orr S.W., Cheng T. (2015) A Heuristic Model of Bounded Route Choice in Urban Areas. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 56, pp. 195–209.
- Marchetti C. (1994) Anthropological Invariants in Travel Behavior. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 47, no 1, pp. 75–88.
- Navarro-Ligero M.L., Soria-Lara J.A., Valenzuela-Montes L.M. (2019) A Heuristic Approach for Exploring Uncertainties in Transport Planning Research. *Planning Theory & Practice*, vol. 20, no 4, pp. 537–554.
- Ore O. (1980) *Teoriya grafov [Graph Theory]*. Moskva: Nauka [Moscow: Publishing House Nauka]. (in Russian)
- Romanycia M.H.J., Pelletier F.F. (1985) What is a Heuristic? *Computational Intelligence*, vol. 1, no 1, pp. 47–58.
- Sheleykhovskiy G.V. (1946) *Kompozitsiya gorodskogo plana kak problema transporta [Urban Plan Composition as Transport Problem]*. Moscow: GIPROGOR. (in Russian)
- Shvecov V.I. (2009) Algoritmy raspredeleniya transportnykh potokov [Transport Flows Distribution Algorithms]. *Avtomatika i Telemekhanika [Automation and Telemechanics]*, no 10, pp. 148–157. (in Russian)
- Shvecov V.I. (2003) Matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov [Transport Flows Mathematical Modeling]. *Avtomatika i Telemekhanika [Automation and Telemechanics]*, no 11, pp. 3–46. (in Russian)
- Stanilov K. (2007) Democracy, Markets, and Public Space in the Transitional Societies of Central and Eastern Europe. *The Post-Socialist City. Urban Form and Space Transformations in Central and Eastern Europe after Socialism*. Dordrecht: Springer, pp. 269–284.
- Suwansirikul C., Friesz T.L., Tobin R.L. (1987) Equilibrium Decomposed Optimization: A Heuristic for the Continuous Equilibrium Network Design Problem. *Transportation Science*, vol. 21, no 4, pp. 254–263.
- Switzer A., Bertolini L., Grin J. (2013) Transitions of Mobility Systems in Urban Regions: A Heuristic Framework. *Journal of Environmental Policy & Planning*, vol. 15, no 2, pp. 141–160.
- Tarkhov S.A. (2005) *Evolucionnaya morfologiya transportnykh setey [Transportation Networks Evolutionary Morphology]*. Smolensk–Moscow: Universum. (in Russian)
- Timerkhanov A.V. (2017) V Rossii na tysyachu zhitel'ey prikhoditsya 288 legkovykh avtomobiley [There are 288 Cars per Thousand Citizens in Russia]. *AvtoStat [Autostat]*. Available at: <https://www.autostat.ru/news/29682/> (accessed 01 May 2017). (in Russian)
- Vorob'ev A.E., Titov A.Y., Gavrilin V.A., Men'shutin A.Y., Bakhirev I.A. (2015) *Transportnaya model' Moskovskogo regiona [Moscow Region Transport Model]*. *Vychislitel'nye tekhnologii v estestvennykh naukakh. Metody superkomp'yuternogo modelirovaniya. Sbornik trudov [Computation Technologies in Natural Science. Supercomputer Modelling Methods]*. Moscow: IKI RAN, pp. 49–62. (in Russian)
- Vysokovskiy A.A. (2005) *Pravila zemlepol'zovaniya i zastroyki: rukovodstvo po razrabotke. Opyt vvedeniya pravovogo zonirovaniya v Kyrgyzstane [Land-Use and Development Ordinance: Development Guide. Case of Zoning Ordinance Implantation in Kyrgyzstan]*. Bishkek: Ega-Basma. (in Russian)
- Vysokovskiy A.A. (1986) *Prostranstvennoe prognozirovanie zastroyki slozhivshikhsya gorodov [Spatial Forecasting of Established City Development]*. Moskva: CNTI po grazhdanskomu stroitel'stvu i arkhitekture [Moscow: Center for Scientific and Technical Information on Civil Engineering and Architecture]. (in Russian)
- Wegener M. (2004) Overview of Land-Use Transport Models. *Handbook of Transport Geography and Spatial Systems*, no 5, pp. 127–146.
- Xie F., Levinson D. (2011) *Evolving Transportation Networks*. New York: Springer.

ПАВЕЛ ДОНСКОЙ, ПЕТР МАЛАХАЛЬЦЕВ ON DEMAND:

АДАПТИВНЫЕ МАРШРУТЫ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Донской Павел Михайлович, руководитель проектов, ООО «РoadAP»; Российская Федерация, 420500, Республика Татарстан, Иннополис, ул. Университетская, 7.

E-mail: pavel.donskoy@gmail.com

Малахальцев Петр Михайлович, технический директор, ООО «ФСТ-Интегро»; Российская Федерация, 420500, Республика Татарстан, Иннополис, ул. Спортивная, д. 102.

E-mail: malakhaltsev@gmail.com

Статья посвящена адаптивному общественному транспорту и принципам его работы. Предполагается, что шаттлы разной вместительности перевозят пассажиров по запросу, без фиксированных остановок с возможностью корректировать маршрут. Маршрут строится на основе многофакторной модели, цель которой — минимизация значений определенных параметров: пройденное шаттлом расстояние, время ожидания и время в пути для пассажира. Описывается механизм балансировки этих параметров. Приводятся данные по эксплуатации маршрута общественного транспорта на базе гибких маршрутов по запросу в городе Иннополис в период с июня 2018-го по январь 2020 года. Представлены результаты сравнительного моделирования транспортных систем разной степени гибкости на примере конкретной дорожной сети: при одинаковых заданных параметрах по числу транспортных средств и пассажиропотоку авторы сравнили технико-экономические показатели и параметры качества сервиса маршрутных систем разной степени гибкости. В рамках модели доказана эффективность сочетания адаптивных маршрутов разной степени гибкости. Принцип сочетания маршрутов: часть транспортных средств выделяется на обслуживание хорошо прогнозируемых потоков пассажиров с допуском небольших отклонений от основного маршрута, остальные же транспортные средства размещаются в районе функционирования сервиса без ограничений по маршруту следования и графику движения, перемещаясь в те районы и на те направления, которые становятся более востребованными в течение суток.

Ключевые слова: общественный транспорт; пассажирский транспорт; микротранзитные перевозки; гибкие маршруты; пассажирские перевозки; облачный сервис; умный город

Цитирование: Донской П.М., Малахальцев П.М. (2019) On demand: адаптивные маршруты общественного транспорта // Городские исследования и практики. Т. 4. № 4. С. 93–125. DOI: <https://doi.org/10.17323/usp44201993-125>

Введение

Организация эффективной системы пассажирского транспорта — одна из главных задач, стоящих перед современными городами. Существенная доля бюджетов наиболее крупных городов мира приходится на расходы по организации общественного транспорта. Рост населения городов, увеличение количества транспортных средств на жителя при одновременной невозможности расширять пропускную способность дорожного полотна и площадей парковочных пространств приводят к серьезным экологическим проблемам и экономическим потерям, связанным с простоями в пробках и расходами на обслуживание инфраструктуры.

В последнее время меняется подход к организации транспортных систем. На смену вопросу «Какое количество транспортных средств может пропустить дорожная сеть?» приходит вопрос «Какое количество пассажиров может пропустить дорожная сеть?». Старая парадигма оценивала транспортную систему в первую очередь по скорости, комфортабельности и доступности поездок на автомобиле. Новая парадигма более всесторонняя и мультимодальная [Litman, 2013]. Перевозка пассажиров шаттлами, автобусами и другими видами общественного транспорта является более эффективной по сравнению с личным транспортом, поскольку автобус занимает меньшую площадь дорожного полотна из расчета на одного пассажира, его не нужно парковать и занимать парковочное место. В личном транспорте чаще всего неэффективно используется даже имеющееся небольшое число посадочных мест — в персональном автомобиле в среднем

едет 1–2 человека, включая водителя, а коэффициент использования личного транспортного средства колеблется в районе 5% (по времени использования) [Burgstaller S. et al., 2017].

Растущая урбанизация и потребность в мобильности зачастую приводят к перегрузке существующей инфраструктуры: дороги и парковочные пространства загружены до предела. В связи с этим на первый план выходит использование транспортных средств, а не владение ими, что отражает общий тренд движения к шеринговой экономике [Ganter R., Berrisford C., Dennean K., Dessloch S., 2017]. Примеры такой экономики — это сервисы Airbnb (совместное использование отпускного жилья) и eBay (вторая жизнь для вещей, бывших в употреблении). В этот тренд укладывается и разработка *vehicle-sharing* решений, *MaaS* (mobility as a service) решений: это сервисы, подразумевающие совместное использование транспортных средств в качестве альтернативы личному транспорту. *MaaS* становится областью применения передовых технологий, развиваясь от статичного Dial-a-Ride Transit (бронирование «по звонку» на день вперед с последующим ручным планированием маршрута) до современных динамичных приложений с нейросетями и машинным обучением «под капотом». Формы *MaaS* — это такси-агрегаторы (Uber, Яндекс.Такси, LYFT и DiDi), сервисы совместных поездок (BlaBlaCar), каршеринговые сервисы, *vanpooling*-решения (VIA) и другие.

В данной статье мы сконцентрируемся на *vanpooling*-решениях (решениях, фокусирующихся на совместном использовании шаттлов, минивэнов), которые теоретически могут обеспечить более доступный по сравнению с такси сервис и, таким образом, сделать мобильность доступнее для более широких слоев населения. Организация *vanpooling*-сервисов является сложной задачей, при решении которой необходимо учитывать большое количество параметров. При наличии сегодня на рынке успешно работающих решений необходимо помнить и анализировать опыт закрытых по разным причинам *vanpooling*-сервисов Kutsuplus и BRIDJ. Одной из главных внутренних проблем таких сервисов — не считая, например, внешнего правового регулирования — является сложность нахождения баланса между прибыльностью сервиса и поддержанием необходимого уровня его качества [Liyanage, Dia, 2020].

С этой проблемой мы столкнулись в ходе реализации проекта по созданию *vanpooling*-сервиса в городе Иннополисе. Для его решения мы прошли путь от упрощенного MVP-решения (решения с минимальной достаточной функциональностью), основанного на однофакторной оптимизационной модели, до многофакторной сбалансированной модели, в которой целевая функция — это минимизация значений параметров: пройденное шаттлом расстояние, время ожидания и время в пути для пассажира. В настоящей статье мы продемонстрируем разработанную нами методику моделирования, расчета и оценки технико-экономических параметров гибких систем маршрутизации, опишем алгоритм расчета гибких маршрутов, приведем данные по работе решения в Иннополисе, проведем анализ результатов моделирования транспортных систем разной степени гибкости и сделаем вывод о применимости *vanpooling*-сервиса в условиях современных городов.

Задача нашего исследования и приведенных здесь результатов — добиться лучшего понимания места адаптивных систем общественного транспорта и способов организации экономически эффективных сервисов в этой сфере.

Понятие и виды адаптивного общественного транспорта. Примеры сервисов

В соответствии с определением Генерального директората энергетики и транспорта Еврокомиссии, адаптивный общественный транспорт (demand responsive transport, DRT) — это «новые ориентированные на пользователя виды общественного транспорта, характеризующиеся гибкими маршрутами и расписанием движения малых/средних транспортных средств в режиме совместной поездки между местами посадки и высадки в соответствии с потребностями пассажиров» [Linares, Barceló, Carmona, Montero, 2016]. Изначально DRT-системы разрабатывались, чтобы обеспечить транспортное сообщение в районах с низким пассажиропотоком, где регулярные автобусы неэффективны. Подход получил развитие в виде множества типов транспортных сервисов по схеме *ride-sharing*.

Адаптивный общественный транспорт — это форма организации пассажирских перевозок, при которой транспортные средства строят свои маршруты на основе текущего запроса на поездки со стороны пассажиров: время отправления и прибытия, остановочные станции, точки маршрута и другие параметры формируются динамически. По своей сути такси-сервис также

является адаптивным пассажирским транспортом, а такси-шеринговые сервисы (которые позволяют водителю такси подобрать по дороге нескольких пассажиров, направляющихся в разные точки) являются переходной формой между такси и общественным транспортом. Но здесь мы рассматриваем использование принципа «транспорт по запросу» применительно к общественному транспорту, то есть транспортным средствам вместимостью более 4 пассажиров. В англоязычной литературе для обозначения того, что мы в настоящей статье называем адаптивным общественным транспортом, распространены термины *flexible mobility on demand (FMoD)*, *demand-responsive transport*, *demand-responsive transit (DRT)*, *dial-a-ride transit (DART)*, *flexible transport services (FTS)* [Mageean, Nelson, 2003; Liyanage, Dia, Abduljabbar, Bagloee, 2019].

Сферы применения адаптивных транспортных систем варьируются от нишевых сервисов для решения специфических транспортных проблем до полноценного элемента городского общественного транспорта — тогда шаттлы по запросу создают новые маршруты или дополняют существующие [Hazan, Lang, Wegscheider, Fassenot, 2019]. Изучив данные о случаях внедрения on-demand шаттл-сервисов, перечисленных в табл. 2, мы выделили основные области применения адаптивных транспортных систем:

- микротранзит (короткие поездки внутри определенной территории или района города, перемещение между магистральными направлениями традиционных маршрутов общественного транспорта);
- туризм (гибкий вариант hop-on/hop-off автобуса, который курсирует по запросу туристов между отелями и достопримечательностями, подвид микротранзита);
- «последняя миля» (last mile; сбор пассажиров на определенной территории и их доставка на узловую транспортную станцию или другой «аттрактор» и обратно);
- «бизнес-перевозки», commute (доставка сотрудников на работу и обратно, корпоративные перевозки, вахта);
- трансфер (сбор пассажиров на обширной территории и их доставка на станцию назначения, например сбор и доставка пассажиров в аэропорт ко времени вылета);
- транспортные сервисы для пассажиров с ограниченной мобильностью (паратранзит).

Маршруты транспортных средств, работающих в адаптивных транспортных системах, могут различаться по степени гибкости. Сравнив по этому критерию перечисленные в табл. 2 сервисы, мы выбрали четыре основных фактора, на основе которых следует классифицировать адаптивные транспортные сервисы:

- маршрут движения транспортного средства между остановками (фиксированный или гибкий);
- список остановочных станций (фиксированный или гибкий);
- допустимость объездов пробок и иных препятствий на маршруте (допустимы или нет);
- необходимость бронирования поездки пассажиров до выезда транспортного средства (требуется или нет).

Ниже в табл. 1 приведены варианты маршрутов общественного транспорта, упорядоченные по степени гибкости, где на первом месте стоит классический маршрут с фиксированным набором остановок и недопустимостью объездов. Наибольшей гибкостью обладает сервис, в котором все параметры могут изменяться в зависимости от запроса — вплоть до района функционирования транспортного средства (например, в утренние и вечерние часы транспортное средство может использоваться в режиме «последняя миля» или commute, а в течение дня и после вечернего часа пик — в режиме «микротранзит» в границах заданного района).

Таблица 1. Виды адаптивных маршрутов по степени гибкости

№ п/п	Пример	Маршрут	Частота движения	Остановки	Объезды	Бронирование поездки
1	Традиционные городские маршруты («большие автобусы»)	фикс.	фикс.*	фикс.	нет	нет
2	Городские маршруты с динамически управляемым расписанием	фикс.	гибкий	фикс.	нет	нет

3	Междугородные автобусы	фикс.	фикс.*	фикс.	нет	требуется
4	Традиционные городские маршруты («маршрутки»)	фикс.	фикс.*	фикс.	допусти- мы	нет
5	Op-demand шаттлы с ограничением по остановкам	гибкий	фикс.*/ гибкий	фикс.	допусти- мы	требуется
6	Op-demand шаттлы с ограничением по территории, виртуальными остановками	гибкий	гибкий	гибкий	допусти- мы	требуется

* – планируется исходя из прогноза пассажиропотока, но не может меняться динамически в автоматизированном режиме.

Почти все адаптивные маршруты требуют бронирования поездки, что является одним из ограничений возможного использования таких сервисов — во всяком случае до тех пор, пока вызов транспортного средства не станет привычной и неотъемлемой частью поездки на общественном транспорте, а также пока не будут разработаны системы заказа поездки без использования персонального смартфона (например, на основе видеоаналитики или с помощью специально оборудованных остановочных станций). Не требуют бронирования поездки лишь частично адаптивные системы (строка 2 табл. 1), в которых может изменяться частота, расписание движения автобусов по маршруту (при этом интенсивность движения автобусов варьируется в течение дня и в традиционных системах общественного транспорта; отличие лишь в том, что в адаптивных системах частота движения может динамически меняться на основании данных о спросе на поездки) [Gkiotsalitis, Stathopoulos, 2016].

Адаптивные транспортные решения работают по всему миру: в Австралии, Канаде, Германии, Японии, Швеции, Великобритании, Мексике, Египте и других странах. Ниже приведены наиболее известные ride-sharing сервисы:

Таблица 2. Сервисы в сфере адаптивного общественного транспорта

Название сервиса	Ссылки	Комментарии
MOIA	https://www.moia.io/en/hamburg https://www.moia.io/en/hanover	Ride-sharing шаттл-сервис от Volkswagen в Гамбурге и Ганновере
VIA	https://ridewithvia.com/ https://www.allygatorshuttle.com/	VIA — это платформа для транспортных компаний, с помощью которых можно организовать on-demand шаттл-сервис. Работает в Нью-Йорке, Берлине и других городах. Приведена также ссылка на сайт партнера VIA, транспортной компании, являющейся оператором сервиса в Берлине
Shotl	https://shotl.com/	Ride-sharing шаттл-сервис, работает в основном в пригородах муниципалитетов Испании
Shuttl	https://ride.shuttl.com/	Сервис в Индии, ориентированный на большие автобусы, доставляющие сотрудников до офиса и обратно на основе on-demand маршрутов
Uber Bus	https://www.uber.com/en-EG/blog/introducing-uber-bus-a-new-way-to-commute/	Сервис гибких маршрутов в Каире, организованный Uber. Ориентирован на микротранзитные перевозки и commute-сервис (доставку сотрудников до работы и обратно)
Transdev	https://www.transdev.com/	Разработчик решений для организации различных видов общественного транспорта, в том числе предоставляет решения для on-demand шаттл-сервисов в Австралии, США, Франции, Нидерландах [Transdev, 2018]

Circuit	https://www.ridecircuit.com/	Сервис шаттлов «по запросу», функционирующий в 20+ городах США
Kutsuplus (сервис закрыт)	https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/8_2016_kutsuplus_finalreport_english.pdf	Одна из первых попыток запуска городского сервиса on-demand шаттлов. Сервис закрыт по решению муниципалитета до выхода на расчетные мощности, при которых ожидалась окупаемость расходов на его содержание [Rissanen, 2016]

Источник: данные авторов.

Данные по эксплуатации гибкого маршрута по запросу в Иннополисе

В июне 2018 года при участии авторов данной статьи была организована работа on-demand шаттл-сервиса для жителей города Иннополис (население около 3500–4000 жителей). До того здесь, по данным СМИ, функционировал традиционный маршрут с отправлением по маршруту каждый час. Маршрут состоял из шести остановок — автобус делал круг вокруг города и возвращался на начальную остановку. Протяженность маршрута — 4,6 км, полный круг занимал 10 минут. Автобус выходил на рейс вне зависимости от наличия или отсутствия пассажиров и проезжал через все запланированные остановки.

В задачи внедрения адаптивного общественного транспорта входили оптимизация расходов на транспорт, расширение транспортной сети (увеличение числа остановок и включение в маршрут соседних населенных пунктов и достопримечательностей), повышение качества сервиса в целом.

Информационные системы для адаптивного общественного транспорта обычно содержат следующие составные части:

а) система заказа поездки: запрос посадки пассажира в месте с определенными координатами, указание координат точки назначения и необходимого числа посадочных мест;

б) система назначения транспортного средства: привязка доступного транспортного средства к заказу;

в) генератор «плавающих» автобусных остановок: поездка может быть запрошена от уже существующей остановки, либо виртуальная остановка может быть создана в ближайшей от пассажира точке дорожной сети;

г) планировщик маршрута: в результате обработки заказа формируется маршрут, который назначается свободному автобусу, либо обновляется уже созданный активный маршрут, если новый заказ находится в «доступном радиусе» [McKenna, Clarke, Golpayegani, 2019].

Для организации услуги гибкого маршрута по запросу в Иннополисе было разработано и опубликовано мобильное приложение, доступное в AppStore¹ и Google Play², были разработаны система назначения транспортного средства и планировщик маршрута (структура программного продукта описана в Приложениях 1 и 2). Генератор «плавающих» автобусных остановок не разрабатывался, вместо этого было увеличено число фиксированных остановок (при этом остановками стали не только оборудованные остановочные павильоны, но и многие другие выбранные вручную незапрещенные для остановки транспорта точки). Позже было разработано веб-приложение для заказа поездок с любого мобильного устройства через веб-браузер³. Приложение поддерживает функции выбора станций отправления и назначения, желаемого времени отправления (выбор из доступных вариантов), бронирования поездки и отслеживания местоположения автобуса. Также разработано мобильное приложение водителя — для просмотра списка запланированных рейсов, остановок в каждом рейсе (исходя из сделанных пассажирами заказов), навигации по маршруту и верификации пассажира при посадке в автобус (верификационный код для пассажира генерируется при бронировании и отображается на странице бронирования).

1 Название: Innobus, <https://apps.apple.com/us/app/innobus/id1358129481>.

2 Название: Innobus, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mobidisco.avtobus&hl=en>.

3 <http://app.innobus.ru/zakaz/>.

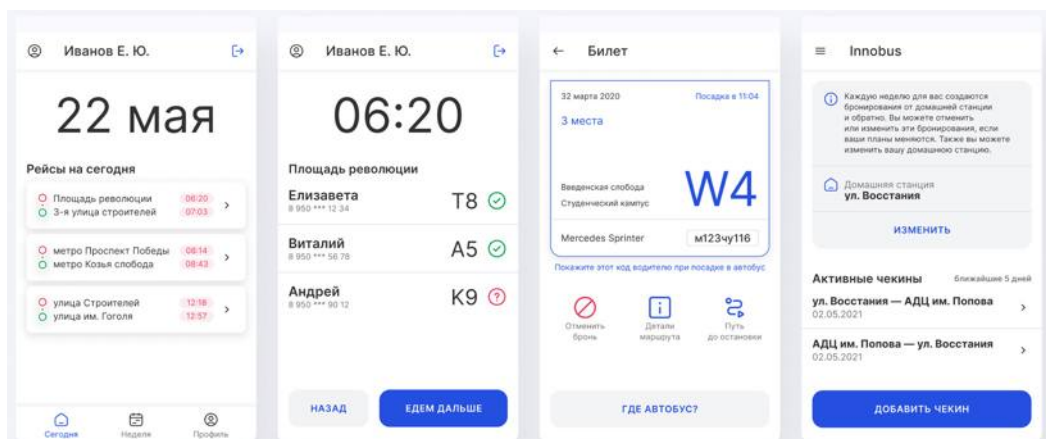


Рис. 1. Интерфейсы приложений водителя и пассажира для заказа поездок

За период с июля 2019 года по июль 2020 года наработана база активных пользователей более 1000 пассажиров, выполнено более 20 000 рейсов. Удалось сократить среднемесечный километраж-пробег транспортного средства на маршруте на ~20%, при этом возможная частота выездов автобуса на маршрут выросла до 4 раз в час (с 1 раза в час до внедрения). Площадь покрытия сервиса увеличилась в несколько раз: было добавлено 10 остановочных станций (их число увеличилось с 6 до 16, что не является пределом, так как шаттл-сервис в принципе может останавливаться без привязки к остановочным павильонам), причем не только в Иннополисе, но и в соседних населенных пунктах. Так, появилась возможность доехать до горнолыжного курорта ГСОК «Свияжские холмы». Использование системы гибких маршрутов и приложения для поездок по запросу, позволило повысить качество и охват сервиса при сокращении расходов на перевозки.

Алгоритм построения маршрута для on-demand общественного транспорта

Сеть маршрутов общественного транспорта часто моделируется с помощью графов, в которых каждый узел является станцией, станции соединены направленными ребрами, а длина ребер определяет расписание (время отправления/прибытия на станцию) [Wang, Lin, Yang, Xiao, 2015]. При формировании расписания традиционных маршрутов последовательность узлов (станций) фиксирована. Маршруты и «расписание» (оценка времени прибытия на станцию) адаптивного общественного транспорта, напротив, строятся на основе динамической маршрутизации, где последовательность узлов (станций) может быть произвольной и может оптимизироваться. Динамическое расписание — это прогноз движения автобусов, созданный на основе активных заказов от пассажиров и прогнозных моделей, используемых системой для определения положения транспорта исходя из прогнозируемых заказов. Такое расписание может быть изменено, если меняется дорожная ситуация и (или) появляются новые заказы. Основой для его составления являются алгоритмы формирования и оптимизации маршрутов — они определяют направление и скорость движения автобуса, очередность исполнения заказов, а значит, и время, в которое он должен прибыть на те или иные станции.

Принцип построения маршрутов для адаптивных транспортных систем зависит от цели, которую ставит заказчик, организатор перевозок. В районах с низким спросом и невысокой транспортной доступностью маршруты могут строиться на основе простой минимизации расстояния, пройденного автобусом. Однако как только повышается запрос пассажиров к качеству сервиса и появляются конкурирующие сервисы, предоставляющие услуги перевозок, модель усложняется из-за необходимости находить баланс между экономией расходов на перевозки и ценностью сервиса для пассажира. Способ поиска такого баланса — разработка многофакторной модели расчета маршрута и алгоритмов балансировки (системы весовых коэффициентов) для определения баланса между противоречащими факторами. В ходе запуска адаптивного маршрута в Иннополисе необходимо было создать многофакторную модель, на основе которой можно формировать динамическое расписание.

Приведем описание базовой математической модели оптимизации маршрутов, которая использовалась на старте пилотного проекта в Иннополисе. Транспортная (дорожная) инфраструктура города представлена в виде полного взвешенного ориентированного графа $G(V, E)$, где $V_{1..n}$ — множество остановок, а $E_{1..n(n-1)}$ — пути между остановками, $w(E) = w_{ij}$ — вес ребра, расстояние между остановками.

Был использован и адаптирован алгоритм поиска кратчайшего пути на графе с учетом направления движения пассажиров [Guze, 2014]. В начале алгоритма устанавливается стартовая остановка V_0 , а пути от нее к остановкам, на которых ждут пассажиры, добавляются в множество доступных путей $A(E) = \{E_{V_0V_1}, \dots, E_{V_0V_k}\}$.

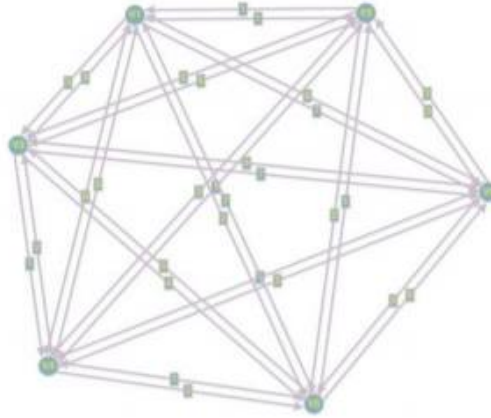


Рис. 2. Иллюстрация полного взвешенного ориентированного графа

Источник: построено авторами.

На каждом шаге алгоритм выбирает произвольный путь $\alpha_{v_i v_j} \in A(E)$, добавляет его в общий путь $D = \{\alpha_1 \dots \alpha_k\}$ и удаляет из $A(E)$. Все пути $E_{1..p}$ к остановкам, на которые направляются пассажиры с остановки V_i , добавляются в $A(E)$. Алгоритм прекращает выполнение при условии $\exists \alpha_{v_i v_j} \in A(E)$. Общее расстояние текущего маршрута $M(D) = \sum_{k=0}^{|D|} w(\alpha_k)$. Соответственно $\exists D_0 : M(D_0) \leq M(D_k) \forall k$.

Одна из проблем этого алгоритма состоит в том, что он не учитывает время, проведенное пассажиром в автобусе. Время пассажира в пути не планировалось использовать в качестве основного критерия оптимизации, однако среднее и максимальное время, проведенное пассажиром в автобусе, может служить в качестве одного из входных условий при построении маршрута или быть частью критерия оценки качества маршрута.

Поэтому исходный алгоритм был доработан для решения поставленных выше проблем (отсутствие учета времени в пути для пассажира, балансировка целевых параметров) — от однофакторной оптимизации, приемлемой для MVP (продукта с минимально достаточной функциональностью), система переведена на многофакторную оптимизацию. Как и в предыдущем алгоритме, мы представляем дорожную систему в виде полного взвешенного ориентированного графа $G(V, E)$, где $V_{1..n}$ — множество остановок, а $E_{1..n(n-1)}$ — пути между остановками, $w(E) = w_{ij}$ — вес ребра, расстояние между остановками.

В начале алгоритма устанавливается стартовая остановка V_0 , а пути от нее к остановкам, на которых ждут пассажиры, добавляются в множество доступных путей $A(E) = \{E_{V_0V_1}, \dots, E_{V_0V_k}\}$.

Кроме того, мы задаем функцию оценки качества маршрута $Q(D) = \sum_{k=0}^{|D|} c_1 w(\alpha_k) + c_2 p(\alpha_k)$, где $p(\alpha_k)$ — расстояние для пассажиров на текущем шаге, которое зависит от числа пассажиров в автобусе в данный момент, c_1 — коэффициент значимости расстояния для автобуса, c_2 — коэффициент значимости расстояния для пассажиров.

На каждом шаге алгоритм выбирает произвольный путь $\alpha_{v_i v_j} \in A(E)$, добавляет его в общий путь $D = \{\alpha_1 \dots \alpha_k\}$, вычисляет количество пассажиров и расстояние для пассажиров $P = \{p_1 \alpha_1 \dots p_k \alpha_k\}$ и вычисляет значение функции качества маршрута $Q(D)$, а также удаляет $\alpha_{v_i v_j}$ из $A(E)$. Если на данном шаге текущее значение $Q(D) > Q_{\min}$, то вариант с выбором $\alpha_{v_i v_j}$ на данном шаге исключается из вычисления, так как является заведомо не оптимальным.

Все пути $E_{1..p}$ к остановкам, на которые направляются пассажиры с остановки V_j , добавляются в $A(E)$. Алгоритм прекращает выполнение при условии $\exists \alpha_{v_{ivj}} \in A(E)$. Соответственно $\exists D_o : Q(D_o) \leq Q(D_k) \forall k$.

Ниже приведены примеры того, как формируются маршруты в соответствии со старым (однофакторным — по расстоянию в пути) и новым (многофакторным) методами расчета. В каждом из рассмотренных случаев приведены сделанные пассажирами бронирования (initial checkins), запланированная очередность остановок (planned route), общее пройденное автобусом расстояние (total distance bus), общее пройденное расстояние всеми пассажирами (total distance passengers), максимальная дистанция для пассажира (max distance for passenger).

Для Варианта 1 мы выбрали маршрут, на который было сделано 10 заказов (initial checkins). Длина маршрута, построенного на основе однофакторной оптимизации (минимизации расстояния для автобуса), составила 3360 м, на основе минимизации расстояния для пассажиров — 4540 м, длина маршрута, полученного многофакторным методом, — 3540 м. При этом в первом случае (оптимизация по расстоянию в пути для автобуса) все пассажиры в совокупности проехали 18 860 м, а в случае многофакторного маршрута — 13 440 м. Другими словами, увеличив пробег автобуса на 5,34%, мы улучшили пользовательский опыт на 28,74%. При этом фактически в данном примере мы добавили к пути автобуса всего 180 м, по-другому построив маршрут, очередность станций. Кроме того, в данном случае улучшился worst coefficient — это степень отличия реального маршрута от оптимального для пассажира с самым длинным маршрутом. При расчете маршрута по кратчайшему пути для автобуса он составлял 4,67. При расчете маршрута по многофакторной модели он составил 3,6. То есть путь самого «неудобного» для системы пассажира улучшился на 22,91%. Однофакторный метод на основе целевого параметра «кратчайший путь для пассажира» мы далее не рассматриваем, так как в этом случае автобус начинает выполнять отдельные заказы пассажиров, работая практически в режиме такси, что является неприемлемым для перевозчиков.

Таблица 3. Вариант 1. Кратчайший путь для автобуса (однофакторный метод)

Заказы пассажиров				Построенный маршрут	Детали построенного маршрута				
№ заказа	Остановка «Откуда»	Остановка «Куда»	К-во пасс.		№ заказа	Прямой маршрут, м	Фактич. маршрут, м	Отклонение	
1	Студ. кампус	Дет. сад	2	* Студ. кампус * Дом 104 * Дом 112 * Дет. сад * АДЦ им. А.С. Попова * Университет * Мед. центр	1	1100	1230	1,12	
2	Студ. кампус	Мед. центр	1		2	720	3360	4,67	
3	Студ. кампус	Дом 112	1		3	1000	1000	1	
4	Дом 104	Мед. центр	2		4	1300	2460	1,89	
5	Дом 104	Университет	1		5	950	2080	2,19	
6	Дом 104	Университет	1		6	950	2080	2,19	
7	Дом 104	Университет	1		7	950	2080	2,19	
8	Дом 112	АДЦ им. А.С. Попова	1		8	750	880	1,17	
Расстояние, пройденное автобусом								3360	
Сумма всех расстояний маршрутов каждого из пассажиров								18 860	
Максимальное расстояние для пассажира								3360	
Worst coefficient (худшее из отклонений)								4,67	

Источник: данные авторов.

Таблица 4. Вариант 1. Кратчайший путь для пассажиров (однофакторный метод)

Заказы пассажиров				Построенный маршрут	Детали построенного маршрута			
№ заказа	Остановка «Откуда»	Остановка «Куда»	К-во пасс.		№ заказа	Прямой маршрут, м	Фактич. маршрут, м	Отклонение
1	Студ. кампус	Дет. сад	2	* Дом 112 * АДЦ им. А.С. Попова * Студ. кампус * Дет. сад * Дом 104 * Дом 112 * Университет * Мед. центр	1	1100	1100	1
2	Студ. кампус	Мед. центр	1		2	720	2590	3,6
3	Студ. кампус	Дом 112	1		3	1000	1440	1,44
4	Дом 104	Мед. центр	2		4	1300	1300	1
5	Дом 104	Университет	1		5	950	950	1
6	Дом 104	Университет	1		6	950	950	1
7	Дом 104	Университет	1		7	950	950	1
8	Дом 112	АДЦ им. А.С. Попова	1		8	750	1900	2,53
Расстояние, пройденное автобусом								4540
Сумма всех расстояний маршрутов каждого из пассажиров								13 240
Максимальное расстояние для пассажира								2590
Worst coefficient (худшее из отклонений)								3,6

Источник: данные авторов.

Таблица 5. Вариант 1. Многофакторный метод

Заказы пассажиров				Построенный маршрут	Детали построенного маршрута			
№ заказа	Остановка «Откуда»	Остановка «Куда»	К-во пасс.		№ заказа	Прямой маршрут, м.	Фактич. маршрут, м.	Отклонение
1	Студ. кампус	Дет. сад	2	* Дом 112 * АДЦ им. А.С. Попова * Студ. кампус * Дет. сад * Дом 104 * Дом 112 * Университет * Мед. центр	1	1100	1100	1
2	Студ. кампус	Мед. центр	1		2	720	2590	3,6
3	Студ. кампус	Дом 112	1		3	1000	1440	1,44
4	Дом 104	Мед. центр	2		4	1300	1300	1
5	Дом 104	Университет	1		5	950	950	1
6	Дом 104	Университет	1		6	950	950	1
7	Дом 104	Университет	1		7	950	950	1
8	Дом 112	АДЦ им. А.С. Попова	1		8	750	2100	2,8
Расстояние, пройденное автобусом								3540

Сумма всех расстояний маршрутов каждого из пассажиров	13 440
Максимальное расстояние для пассажира	2590
Worst coefficient (худшее из отклонений)	2,8

Источник: данные авторов.

Таблица 6. Вариант 1. Сравнение маршрутов, построенных при помощи разных методов

Показатель	Min расстояние для автобуса, м	Min расстояние для пассажира, м	Многофакторная модель, м
Total distance bus	3360	4540	3540
Total distance passengers	18 860	13 240	13 440
Max distance for passengers	3360	2590	2590
Worst coefficient	1,17	2,53	2,8

Источник: данные авторов.

Для Варианта 2 взят маршрут с 10 заказами. Расстояние для автобуса увеличилось существенно — с 4440 до 5630 м. Однако при этом общее расстояние для пассажиров снизилось с 20 490 до 12 800 м — на 37,53%. При этом «самый неудобный» пассажир проехал 1750 м вместо 3040 м, то есть меньше на 42,43%. Однако worst coefficient незначительно, но вырос — с 2,76 до 3,13. При разнонаправленном в целом изменении показателей общий вектор — улучшение модели, если рассматривать эффективность сервиса в целом.

В задачи следующего этапа исследования входит поиск путей балансировки многофакторной модели, чтобы перевозчик смог искать баланс между сокращением собственных расходов и оптимизацией сервиса для пассажиров, то есть достижением оптимальных параметров QoS (качество обслуживания). Для кейсов, аналогичных данному (когда расстояние в пути для автобусов увеличивается, например, на 26%), необходимо предоставить перевозчику инструмент настройки модели: какие параметры являются для него наиболее приоритетными и в какой пропорции, чтобы система могла принимать решение о построении маршрута на основе этих настроек.

Таблица 7. Вариант 2. Кратчайший путь для автобуса (однофакторный метод)

Заказы пассажиров				Построенный маршрут	Детали построенного маршрута			
№ заказа	Остановка «Откуда»	Остановка «Куда»	К-во пасс.		№ заказа	Прямой маршрут, м	Фактич. маршрут, м	Отклонение
1	АДЦ им. А.С. Попова	Zion	1	* Студ. кампус * АДЦ им. А.С. Попова * Zion * Дом 104 * Дом 112 * Дет. сад * Мед. центр	1	550	550	1
2	Студ. кампус	АДЦ им. А.С. Попова	1		2	560	560	1
3	Студ. кампус	Дет. сад	2		3	1100	3040	2,76
4	Студ. кампус	Дет. сад	2		4	1100	3040	2,76
5	Zion	Дет. сад	1		5	1700	1930	1,14
6	Zion	Дет. сад	1		6	1700	1930	1,14
7	Дом 104	Мед. центр	1		7	1300	1730	1,33
8	Дом 112	Мед. центр	1		8	1500	1630	1,09

Расстояние, пройденное автобусом	4440
Сумма всех расстояний маршрутов каждого из пассажиров	20 490
Максимальное расстояние для пассажира	3040
Worst coefficient (худшее из отклонений)	2,76

Источник: данные авторов

Таблица 8. Вариант 2. Многофакторный метод

Заказы пассажиров				Построенный маршрут	Детали построенного маршрута			
№ заказа	Остановка «Откуда»	Остановка «Куда»	К-во пасс.		№ заказа	Прямой маршрут, м	Фактич. маршрут, м	Отклонение
1	АДЦ им. А.С. Попова	Zion	1	* Студ. кампус * Дет.сад * АДЦ им. А.С. Попова * Zion * Дет.сад * Дом 112 * Дом 104 * Мед. центр	1	550	550	1
2	Студ. кампус	АДЦ им. А.С. Попова	1		2	560	1750	3,13
3	Студ. кампус	Дет. сад	2		3	1100	1100	1
4	Студ. кампус	Дет. сад	2		4	1100	1100	1
5	Zion	Дет. сад	1		5	1700	1700	1
6	Zion	Дет. сад	1		6	1700	1700	1
7	Дом 104	Мед. центр	1		7	1300	1300	1
8	Дом 112	Мед. центр	1		8	1500	1500	1
Расстояние, пройденное автобусом					5630			
Сумма всех расстояний маршрутов каждого из пассажиров					12 800			
Максимальное расстояние для пассажира					1750			
Worst coefficient (худшее из отклонений)					3,13			

Источник: данные авторов.

Таблица 9. Вариант 2. Сравнение маршрутов, построенных при помощи разных методов

Показатель	Однофакторный метод (min расстояние для автобуса, м)	Многофакторная модель, м
Total distance bus	4440	5630
Total distance passengers	20 490	12 800
Max distance for passengers	3040	1750
Worst coefficient	2,76	3,13

Источник: данные авторов.

Описанный выше алгоритм используется для организации работы адаптивного транспортного сервиса в Иннополисе и эффективно справляется с относительно небольшим количе-

ством запросов. Для организации работы аналогичного сервиса в крупных городах, где интенсивность пассажиропотока существенно выше, а дорожная ситуация меняется гораздо чаще, требуется использование более совершенных математических алгоритмов, в том числе приближенные решения, базирующиеся на использовании генетических алгоритмов и различных эвристик для уменьшения вычислительной нагрузки [Сатунин, 2009].

Описание принципов работы системы моделирования адаптивного общественного транспорта

Мы изучили подход к моделированию адаптивного общественного транспорта, основанный на агентных (agent-based) фреймворках. Агентные фреймворки позволяют моделировать поведение пассажиров на основе сета данных об их индивидуальных характеристиках и поведении и используются для оценки эффекта адаптивного общественного транспорта [Liyanage, Dia, 2020]. Кроме того, при определении подходов к моделированию мы ориентировались на модели, которые предсказывают график активностей каждого жителя в определенный день на основе последовательно принимаемых решений [Zhou, Dorsman, Snelder, de Romph, Mandjes, 2019]. Разработанная нами модель позволяет поделить пассажиров на группы, каждая из которых обладает индивидуальным набором характеристик, и моделировать заказ каждого из пассажиров с учетом особенностей его группы. Также она позволяет моделировать различные сценарии, изменяя параметры, определяющие правила функционирования адаптивного общественного транспорта.

Для моделирования работы различных способов организации общественного транспорта мы разработали программное обеспечение, поддерживающее (1) загрузку исходных данных о дорожной сети и пассажиропотоке, (2) генерацию запросов на поездки от пассажиров на основе заложенных в систему алгоритмов и исходных данных о дорожной сети и пассажиропотоке, (3) генерацию маршрутов на основе описанной выше многофакторной модели для построения гибких маршрутов, (4) подсчет итоговых значений технико-экономических показателей и параметров качества сервиса⁴.

Наша система моделирования состоит из четырех частей:

- input — страница, на которой загружаются данные;
- алгоритмы симуляции — математический аппарат для выполнения симуляций;
- map — страница, на которой демонстрируется работа системы;
- output — страница, на которой выводятся результаты моделирования.

В input вводятся координаты участка дорожной сети (четыре точки-координаты), количество транспортных средств на маршруте, их вместительность, стоимость 1 км поездки шаттла, расходы в час на 1 шаттл, фиксированные расходы на 1 шаттл, накладные расходы в сутки, часы работы сервиса. Также в csv-файлах загружаются следующие данные:

1. Список остановок (название остановки — название района — координаты). В этой таблице в систему загружается перечень остановок, на которых может останавливаться on-demand шаттл. Остановки могут быть виртуальными — без специально оборудованных остановочных павильонов, при условии, что в данном месте не запрещена остановка транспортных средств.
2. Список районов с указанием числа жителей в районе (название района — координаты центра района — численность — % работающих — % учащихся — % туристов — % жителей с достатком ниже среднего — % жителей со средним достатком — % жителей с достатком выше среднего). Разбивка на районы выполняется искусственно, вручную, исходя из особенностей исследуемой территории. Район задается своей центральной точкой, к этой точке привязываются загруженные ранее ближайшие остановки. В этой таблице в систему загружаются данные о том, как распределено население в городе и какова структура населения в конкретном районе: пропорции работающего населения, учащихся, домохозяев, туристов (от того, в какой категории находится потенциальный пассажир, зависит, в какое время и куда он потенциально может поехать).
3. Список аттракторов: название аттрактора, тип аттрактора (офис, учебное заведение, быт, достопримечательность, транспортный узел), координаты, сила притяже-

⁴ Веб-версия системы, использованной для моделирования: <http://analytic.staffboost.ru/simulation/input>.

ния пассажиропотока к аттрактору в зависимости от времени суток (относительная субъективная оценка от 1 до 10), ожидаемое среднее время нахождения на территории аттрактора. Аттракторы помогают определить, куда поедут пассажиры в то или иное время (в тех случаях, когда у нас нет точных данных о численности пассажиров). Время нахождения на территории аттрактора влияет на то, когда пассажир поедет от этого аттрактора обратно. Тип аттрактора определяет, какой тип пассажиров, скорее всего, поедет к этому аттрактору («работающие» едут в офис, «учащиеся» — в учебные заведения, туристы едут к «достопримечательностям»). Отдельно следует учесть аттрактор «транспортный узел». Он нужен, когда мы анализируем работу маршрута в районах, которые соединяются с другими районами с помощью транспортного узла. Например, окраинный район города и станция метро, к которой стекается большинство типов пассажиров. Такой тип аттрактора может привлекать пассажиров любого типа.

4. Пассажиропоток: время, станция отправления, станция прибытия, пассажиропоток (количество человек). Эта таблица нужна, чтобы загрузить известные нам данные о пассажиропотоке.
5. Маршруты общественного транспорта: номер маршрута, часы работы, число автобусов и время на круг или частота движения, список остановок (название — координаты), стоимость работы одного автобуса в сутки, стоимость проезда. Данная таблица необходима для того, чтобы в систему были загружены данные о конкуренте в виде автобусов.
6. Данные по такси: время суток, стоимость километра для пассажира и среднее время подачи в это время суток. Эта таблица необходима, чтобы в систему были загружены данные о такси как конкурирующем виде транспорта.

После того, как загружены все данные, выполняется моделирование на основе алгоритмов. Описание приводится ниже.

а) Система считает количество потенциальных пассажиров в загруженных в систему районах города, при этом из общего числа жителей выбираются только жители со средним достатком. Таким образом, мы получаем потенциальный пассажиропоток, распределенный по районам города, с указанием типа пассажиропотока — работающее население, учащиеся, туристы. Выстраивается таблица: название района, категория пассажиров, число потенциальных пассажиров в данной категории без учета тех, кто останется дома.

б) Считается доля пассажиров, которые в этот день планируют поездку. Из категории «работающие» куда-то поедут в рабочий день 95%, из категории «учащиеся» — 70%, из категории «домохозяйства» — 50%, из категории «туристы» — 80% (20% за весь день не воспользуются транспортом, будут ходить пешком). Указанные данные доступны для корректировки в глобальных настройках, так как в зависимости от территории после проведения дополнительных исследований они могут меняться, уточняться. Получаем таблицу: название района, категория пассажиров, число потенциальных пассажиров в данной категории, которые вероятно куда-то поедут сегодня.

в) Определяется время, когда сегодняшние пассажиры совершат поездку. Для этого опять же в глобальные настройки выносятся таблица, аналогичная *табл. 10*.

Таблица 10. Пример распределения поездок пассажиров определенной категории по времени суток

Категория пассажира: Работающие	
Начало промежутка (каждый час суток)	Вероятность поездки в это время (в сумме должно быть 100%)
05:00	
06:00	15%
07:00	20%
...	...

Источник: данные авторов.

Получаем таблицу: название района, категория пассажиров, время выезда, число пассажиров. Причем желаемое время выезда здесь должно выбираться случайно в течение часа с начала промежутка из *табл. 10*.

г) Определяем, с какой станции пассажиры отправятся в поездку. С равной вероятностью поездка может быть совершена с любой из станций. Получаем таблицу: название района, категория пассажира, время выезда, id пассажира, номер заказа (число заказов на данном этапе соответствует числу пассажиров, которые едут сегодня из этой точки), станция отправления.

д) Определяем, к аттракторам какого типа поедет пассажир. Работающие едут к аттракторам типа «офис», учащиеся — «учебное заведение», домохозяйка — «быт», туристы — «достопримечательность». К аттракторам типа «транспортный узел» (далее — ТУ) могут ехать пассажиры всех категорий. Вероятность того, к какому аттрактору поедет пассажир, зависит от оценки силы аттрактора в загруженной таблице. Сила аттракторов может корректироваться данными о пассажиропотоке, если они есть. О том, как именно корректируется оценка силы аттрактора, написано ниже в разделе «Корректировка оценки силы аттрактора». Получаем таблицу: название района, категория пассажира, время выезда, id пассажира, номер заказа, станция отправления, станция назначения.

е) Генерируем обратные и повторные поездки:

- «Работающий» пассажир с вероятностью 10% совершит внутри рабочего дня поездку от одного офиса до другого офиса (офис в данном случае — тип аттрактора). В глобальных настройках данный параметр, по умолчанию равный 10%, управляется полем под названием «Вероятность внутридневной поездки работающего пассажира».
- «Работающий» пассажир с вероятностью 90% в конце рабочего дня (через 8 часов после первой поездки) совершит поездку обратно к станции отправления. В глобальных настройках этот параметр, по умолчанию равный 90%, управляется полем под названием «Вероятность поездки домой после рабочего дня».
- «Работающий» пассажир с вероятностью 10% в конце рабочего дня (через 8 часов после первой поездки) совершит поездку к любой случайной станции города, пробудет там 2 часа, а потом поедет к станции отправления. В глобальных настройках этот параметр по умолчанию равен 10% и управляется полем под названием «Вероятность случайной поездки по делам после рабочего дня».
- «Учащийся» пассажир с вероятностью 50% совершит в конце учебного дня (через 4 часа после первой поездки) поездку обратно к станции отправления. В глобальных настройках соответствующий параметр, по умолчанию равный 50%, управляется полем под названием «Вероятность поездки домой после учебного дня».
- «Учащийся» пассажир с вероятностью 50% совершит в конце рабочего дня (через 4 часа после первой поездки) поездку к любой случайной станции города, пробудет там 2 часа, а потом поедет к станции отправления. В глобальных настройках этот параметр, по умолчанию равный 50%, управляется полем под названием «Вероятность случайной поездки по делам после учебного дня».
- «Домохозяин» с вероятностью 90% после поездки (через 1 час после первой поездки) совершит еще одну поездку обратно к станции отправления. В глобальных настройках соответствующий параметр по умолчанию равен 90% и управляется полем под названием «Вероятность поездки домой после бытового дела».
- «Домохозяин» с вероятностью 10% совершит после поездки (через 1 час после первой поездки) поездку к любой случайной станции города, пробудет там 1 час, а потом поедет к станции отправления. В глобальных настройках данный параметр (по умолчанию равен 10%) управляется полем под названием «Вероятность случайной поездки по делам после бытового дела».
- «Домохозяин» с вероятностью 10% совершит повторную поездку туда-обратно в случайное время в течение дня. В глобальных настройках данный параметр по умолчанию равен 10% и управляется полем под названием «Вероятность повторной поездки домохозяина». В данном пункте генерируется 2 поездки — туда и обратно через 1 час.

В свою очередь, «турист» может:

- поехать обратно в пункт отправления с вероятностью 10% через 3 часа после отправления «туда»;

- поехать обратно на исходную позицию с вероятностью 10% через 5 часов после отправления «туда»;
- поехать обратно на исходную позицию с вероятностью 10% через 8 часов после отправления «туда»;
- поехать к следующему аттрактору типа «достопримечательность» через 1,5 часа после первой поездки, а потом на исходную позицию еще через 1,5 часа;
- поехать к следующему аттрактору типа «достопримечательность» через 1,5 часа после первой поездки, затем еще к одной достопримечательности, а потом на исходную позицию еще через 1,5 часа.

Всеми этими оценками можно управлять в глобальных настройках.

ж) Следующий этап — корректировка оценки силы аттрактора. Корректировка выполняется при загрузке таблиц в систему перед началом симуляции. Предположим, мы имеем 3 аттрактора с субъективной оценкой 5 каждый. Но данные пассажиропотока говорят, что к аттрактору 1 в сутки приезжает 1000 человек, к аттрактору 2 — 700 человек, к аттрактору 3 — 300 человек. На основании этих данных и простых пропорций мы корректируем оценку аттрактора в пределах $\pm 0,5$, то есть от 4,5 до 5,5. Разница между 5,5 и 4,5 равна единице и составляет 100%. Максимальный пассажиропоток идет к аттрактору 1, значит, он получает все 100% и к нижней границе прибавляется 100% от единицы. На втором месте — аттрактор 2, он получает прибавку к нижней границе 70%, то есть 0,7. Аттрактор 3 получает прибавку 0,3.

Таким образом, оценка корректируется:

Для аттрактора 1: $4,5 + 1 = 5,5$.

Для аттрактора 2: $4,5 + 0,7 = 5,3$.

Для аттрактора 3: $4,5 + 0,3 = 4,8$.

Если для некоторых аттракторов нет данных о посещаемости, то их оценка остается неизменной и равняется 5.

з) Далее на основе описанной выше многофакторной модели строятся маршруты. Шаги по генерации маршрутов:

— Доступные шаттлы размещаются в точках, наиболее близких к вероятно наибольшему числу заказов в час начала работы сервиса.

— Для каждого потенциального заказа, сгенерированного ранее, рассчитывается возможное время подачи шаттла. Если оно меньше, чем время подачи такси, увеличенное на 30%, а также меньше, чем время подачи рейсового автобуса, увеличенное на 20%, то пассажир выбирает шаттл-сервис. Принцип принятия решения показан в таблице ниже для условий, что время подачи автобуса — 15 минут, время подачи такси — 7 минут.

Таблица 11. Пример сравнения вариантов поездки с помощью такси и шаттла с гибким маршрутом

Время ожидания шаттла	Сравнительное время такси и рейсового автобуса	Решение
8 минут	Автобус: 10 минут + 20% = 12 минут	Положительное (в пользу шаттла)
	Такси: 7 минут + 30% = 9,1 минуты	
10 минут	Автобус: 10 минут + 20% = 12 минут	Отрицательное (в пользу такси или автобуса)
	Такси: 7 минут + 30% = 9,1 минуты	

Источник: данные авторов.

«Запас» от такси и автобуса (20 и 30% в данном примере и по умолчанию) указывается и корректируется в глобальных настройках.

в) Для каждого автобуса строится маршрут на основе описанной выше многофакторной модели построения маршрутов. Считается пройденный километраж и количество перевезенных пассажиров. Определяется точка завершения маршрута. За N минут до завершения маршрута начинают собираться заказы на следующую поездку.

Эти итерации повторяются в течение работы сервиса. По результатам моделирования всех итераций считаются итоговые параметры функционирования сервиса — технико-экономические показатели и параметры качества сервиса.

Моделирование и сравнительный анализ показателей работы маршрутных систем различной степени гибкости

В этом разделе представлено исследование, целью которого является сравнение технико-экономических показателей и параметров качества работы систем городского транспорта разной степени адаптивности, работающих по различным сценариям, задача которого — определение оптимального набора параметров при организации адаптивного общественного транспорта. Сценарии рассчитываются на основе разработанной нами модели для Иннополиса, принципы работы которой описаны выше. Расчеты производятся с одинаковым набором исходных данных, меняются только правила, по которым осуществляется работа общественного транспорта. Исходный набор данных упрощается до наиболее существенных параметров, оказывающих наиболее существенное влияние на результат моделирования.

Для моделирования мы выбрали дорожную сеть района города Видное (население ~77 тыс. человек) и района Бирюлево Восточное города Москвы (население ~155 тыс. человек). В систему моделирования дорожная сеть загружена с помощью сервиса Google Maps, границы моделирования не задаются — они будут определены загруженными координатами остановочных станций.

В городе Видное выбрана 31 исходная станция (исходными считаются станции, от которых начинаются утренние поездки и к которым совершаются последние вечерние поездки), для упрощения модели население города равномерно распределено между этими станциями. Атрибуты и степень их влияния на пассажиропоток перечислены и оценены в Приложении 3. В Бирюлево Восточном выбраны 44 исходные станции, атрибуты и степень их влияния на пассажиропоток перечислены и оценены в Приложении 4.

Мы провели моделирование трех сценариев, корректируя параметры гибкости, приведенные в *табл. 1*, и приняв, что в рамках одной транспортной системы могут работать одновременно различные сервисы с разной степенью гибкости:

Сценарий 1. Транспортное обслуживание осуществляется 20 автобусами вместительностью 17 мест, которые абсолютно свободны в своих перемещениях между заданными остановками.

Сценарий 2. Транспортное обслуживание осуществляется 4 автобусами вместительностью 17 мест на маршруте «Видное — метро Царицыно (по ул. Липецкая)», 4 автобусами на маршруте «Видное — ТРК Вегас», 4 автобусами на маршруте «Восточное Бирюлево — ТРК Вегас», 8 автобусами с любыми остановками без ограничений по маршруту и району.

Сценарий 3: Транспортное обслуживание осуществляется 4 автобусами вместительностью 17 мест на маршруте «Видное — метро Царицыно» (по ул. Липецкая)», 4 автобусами на маршруте «Видное — ТРК Вегас», 4 автобусами на маршруте «Восточное Бирюлево — ТРК Вегас», 4 автобусами с любыми остановками внутри Бирюлево Восточного без права выезда за пределы района, 4 автобусами с любыми остановками внутри города Видное без права выезда за пределы города.

Во всех трех сценариях мы имеем одну и ту же дорожную сеть, одинаковое распределение пассажиров и заказов. Отличаются лишь ограничения, которые мы задаем для отдельных автобусов, направляя их на определенные направления. При этом заданные ограничения достаточны для того, чтобы строить гибкие маршруты.

Для сравнения мы выбрали следующие целевые показатели.

а) Общее расстояние, пройденное автобусами. Оно отражает общий километраж, который необходимо пройти всем транспортным средствам, принимающим участие в обслуживании пассажиропотока, чтобы выполнить все заказы пассажиров. Чем меньше общее расстояние, тем предпочтительнее и экономичнее сценарий.

б) Общее расстояние в пути пассажиров. Оно отражает сумму всех расстояний, которое проехал каждый отдельный пассажир при выполнении заказа на поездку, включая объезды, отклонения от оптимального маршрута для того, чтобы «подсадить» или «высадить» других пассажиров.

в) Среднее время ожидания автобуса — среднее время, которое проходит с момента вызова автобуса до прибытия автобуса на станцию отправления, на которой пассажиру удобно осуществить посадку в автобус.

г) Коэффициент удобства — среднее арифметическое между коэффициентами, посчитанными как отношение расстояния, которое пассажир проезжает с учетом отклонений от оптимального маршрута и расстояния, которое требовалось бы для выполнения заказа по оптимальному маршруту (таким маршрутом поехало бы такси), по каждому из пассажиров.

Статистика работы автобусов и их основные показатели приведены в Приложении 5 «Статистика работы автобусов по Сценариям 1–3».

По показателям «Общее расстояние, пройденное автобусами» и «Общее расстояние пассажиров» Сценарий 1 хуже всех. В Сценарии 3 общее расстояние, пройденное автобусом, на 3% меньше, чем в Сценарии 2, однако общее расстояние, пройденное пассажирами, больше на 5%, поэтому Сценарий 2 предпочтительнее.

Таблица 12. Сравнение сценариев, часть 1

Сценарий	Общее расстояние, м	Общее расстояние пассажиров, м
Сценарий 1	17 334,4	204 351,6
Сценарий 2	17 114,6	183 474,8
Сценарий 3	16 614,4	192 267,7

Источник: данные авторов.

По показателю «Среднее время ожидания автобуса» выигрывает Сценарий 2. Кроме того, у этого сценария лучше и коэффициент удобства. Все это также говорит в пользу того, что он является наиболее удобным для пассажиров.

Таблица 13. Сравнение сценариев, часть 2

Сценарий	Среднее время ожидания автобуса, мин	Коэффициент удобства
Сценарий 1	9,44	3,61
Сценарий 2	9,37	3,35
Сценарий 3	9,68	3,42

Источник: данные авторов.

Дополнительно мы оценили процент загрузки автобусов в перечисленных сценариях. Сценарий 3 уступает по целевым показателям. Средний процент загрузки в Сценариях 1 и 2 одинаков, но если посмотреть на распределение загрузки, то видно, что Сценарий 2 более оптимален, поскольку меньше автобусов загружены на 0–20% и больше — на 50–80% и 20–50%. Все это создает предпосылки для дальнейшей оптимизации Сценария 2, при ограниченности таких предпосылок для Сценария 1.

Результаты моделирования показали, что наиболее оптимальными способами организации адаптивного городского транспорта являются:

- выделение ограниченно гибких маршрутов для обслуживания основных стабильных и заранее прогнозируемых пассажиропотоков: транспортные средства курсируют между основными контрольными точками, имея права на незначительные отклонения от маршрута для выполнения заказов пассажиров вне основной магистрали;
- выделение пула транспортных средств без ограничений по району функционирования, которые могут реагировать на меняющуюся обстановку, перемещаясь в точки наивысшего спроса.

Заключение

Мы обсудили понятие и принципы работы адаптивного общественного транспорта: шаттлы разной вместительности перевозят пассажиров по запросу без фиксированных остановок, с возможностью корректировать маршрут. Перечислены и проанализированы основные модели функционирования адаптивного транспорта.

Приведены данные по эксплуатации маршрута общественного транспорта на базе гибких маршрутов по запросу в городе Иннополисе за период с июня 2018-го по январь 2020 года. Результатом работы сервиса стало сокращение на ~20% пробега транспортных средств, в ~6 раз увеличен охват территории, для которой стал доступен общественный транспорт.

Этого улучшения показателей удалось добиться за счет разработанной нами многофакторной модели, на основе которой строится маршрут гибкого шаттла в Иннополисе. Мы приводим описание ее устройства и функционирования. Цель этой модели — минимизация значений параметров: пройденное шаттлом расстояние, время ожидания и время в пути для пассажира. Описан механизм балансировки этих параметров. Приведены примеры запросов пользователей и показатели качества посчитанных маршрутов, основными из которых являются среднее и максимальное отклонения посчитанного маршрута от прямого маршрута.

Представлены результаты сравнительного моделирования транспортных сервисов разной степени гибкости на примере конкретной дорожной сети: при одинаковых заданных параметрах по числу транспортных средств и пассажиропотоку мы сравнили технико-экономические показатели и параметры качества сервиса маршрутных систем разной степени гибкости.

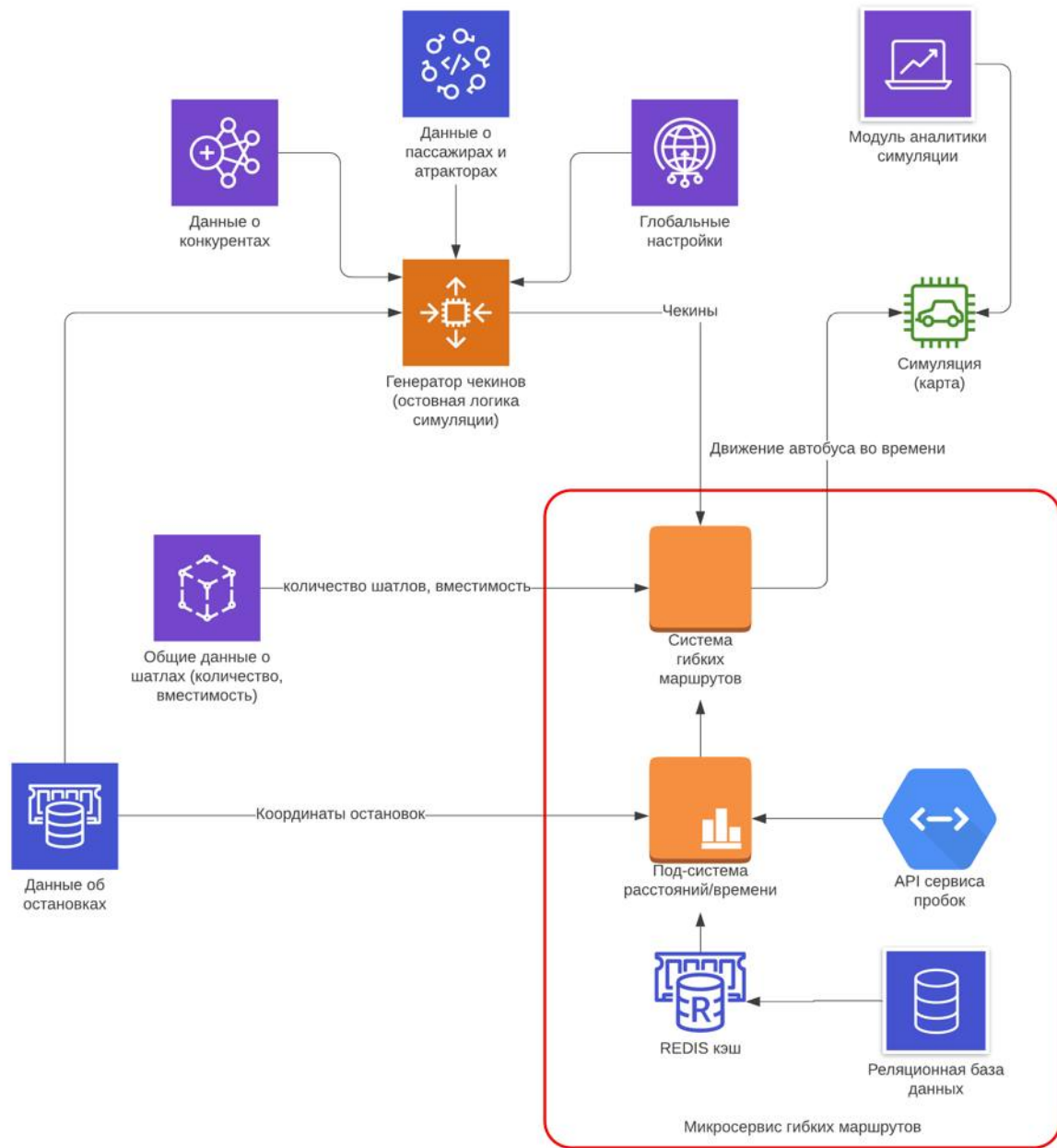
В рамках нашей многофакторной модели нам удалось доказать эффективность сочетания адаптивных маршрутов разной степени гибкости внутри района функционирования сервиса. Сочетание маршрутов осуществляется следующим образом: часть транспортных средств выделяется на обслуживание хорошо прогнозируемых потоков пассажиров с допуском небольших отклонений от основного маршрута; остальная же часть транспортных средств размещается в районе функционирования сервиса без ограничений по маршруту следования и графику движения, перемещаясь, таким образом, в те районы и на те направления, которые становятся востребованными в разные периоды в течение дня.

Необходимо продолжать исследования различных подходов к организации адаптивного транспорта. Особенно полезным для моделирования является анализ данных пилотных проектов с реальными пассажирами, адаптированных к реальным особенностям того, как жители городов пользуются транспортом — насколько они готовы его заказывать и ожидать. Мы считаем, что сочетание маршрутов автобусов «по запросу» разной степени гибкости с традиционными маршрутами позволит снизить и распределить нагрузку на дорожную сеть, повысить доступность транспортных услуг для населения и повысить глобальную эффективность городского транспорта.

При этом наше моделирование было проведено на ограниченном наборе данных (разработка модели базировалась на пилотном проекте в городе Иннополисе с населением 3500–4000 человек); в реальности же чем больше город, тем выше число зависимостей и факторов, оказывающих влияние на эффективность адаптивных транспортных систем. Отдельной проработки требует вопрос сохранения экономической эффективности традиционного общественного транспорта: если часть платежеспособных пассажиров предпочтет использование on-demand транспорта, не приведет ли это к росту требуемых субсидий на содержание социально значимых традиционных маршрутов?

Отдельным дополнительным вопросом для исследования является конкуренция адаптивных систем организации городского транспорта с общественным транспортом и обеспечение роста глобальной эффективности городской транспортной инфраструктуры.

Приложение 1. Общая схема потоков данных в системе моделирования адаптивных маршрутов, разработанной в рамках пилотного проекта в г. Иннополисе



Источник: построено авторами.

Приложение 2. Список сервисов в системе моделирования адаптивных маршрутов, разработанной в рамках пилотного проекта в г. Иннополисе

Сервис	Основное назначение	Основные методы
StorageService	Хранит вводные данные, позволяет сохранять и загружать входные данные для разных симуляций	Save() – сохраняет данные. Load() – загружает все данные необходимые для симуляции. Update() – заменяет вводные данные (частично или полностью)
SimulationService	Основной сервис – генератор заказов от пассажиров на поездки, который получает данные из StorageService, распределяет их среди прочих сервисов и координирует симуляцию	InitServices() – инициализирует сервисы. RunSimulation() – запускает симуляцию. ExportToMap() – экспортирует данные симуляции на карту. ExportToReport() – экспортирует данные симуляции для отчета
StopsService	Сервис остановок – предоставляет информацию об остановках	getStopList() – экспортирует список остановок
CompetitorService	Сервис конкурентов (автобусы, такси)	getCompetitorTime() – считает время конкурента для потенциального чекина. getCompetitorStats() – экспортирует статистику по конкуренту. useCompetitor() – потенциальный пассажир использует конкурента
PassengerService	Сервис пассажиров	Generate() – генерирует список пассажиров с их предпочтениям. AssignPassengerTransport() – задает транспорт пассажиру
GlobalSettingsService	Сервис глобальных настроек	getValue() – получить глобальное значение. setValue() – задать глобальное значение
MapService (module)	Сервис карты – отображает карту, позицию шатлов и другие параметры симуляции	getSnap() – получить расположение транспортных средств в момент времени
ReportService	Статистика – отображает отчет	getReport() – экспорт данных для отчета
RouteService	Сервис взаимодействия с микросервисом гибких маршрутов	getRoute() – получить маршрут для шаттла. setInitialData() – отправляет входные данные для шаттлов (количество, вместимость, остановки, чекины)

Источник: данные авторов

Приложение 3. Параметры моделирования по остановкам в городе Видное

№	Название	Тип объ-екта	Террито-рия	Коорди-наты	Насе-ление	Тип ат-трактора	Сила аттрактора			
							с 7:00 до 10:00	с 10:00 до 17:00	с 17:00 до 21:00	с 21:00 до 7:00
1	6-й ми-крорайон	Исход-ная оста-новка	Видное	55.542934, 37.720241	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
2	АТС	Исход-ная оста-новка	Видное	55.550036, 37.712458	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
3	Березо-вая улица	Исход-ная оста-новка	Видное	55.545680, 37.720157	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
4	ВНИИКОП	Исход-ная оста-новка	Видное	55.553756, 37.691824	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
5	Гастро-ном	Исход-ная оста-новка	Видное	55.545822, 37.708032	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
6	Детский сад	Исход-ная оста-новка	Видное	55.553858, 37.695833	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
7	Дон-басская улица	Исход-ная оста-новка	Видное	55.543730, 37.692506	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
8	ЖК «Зеленые аллеи»	Исход-ная оста-новка	Видное	55.558412, 37.691350	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
9	ЖК «Государев дом»	Исход-ная оста-новка	Видное	55.533079, 37.650413	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
10	Заводо-управле-ние	Исход-ная оста-новка	Видное	55.548419, 37.764620	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
11	Завод-ская улица	Исход-ная оста-новка	Видное	55.555432, 37.714963	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
12	Киноте-атр	Исход-ная оста-новка	Видное	55.552403, 37.702270	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
13	Ленин-ский	Исход-ная оста-новка	Видное	55.560652, 37.684319	2484	Быт	1%	2%	1%	2%
14	Лопатино	Исход-ная оста-новка	Видное	55.533079, 37.650413	2484	Быт	1%	1%	1%	1%
15	Магазин «Все для дома»	Исход-ная оста-новка	Видное	55.548190, 37.713126	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
16	Мебель-ный магазин	Исход-ная оста-новка	Видное	55.559992, 37.725475	2484	Быт	1%	2%	2%	2%

17	МКГЗ	Исходная остановка	Видное	55.549155, 37.753873	2484	Быт	1%	1%	1%	1%
18	Мкр «Завидное»	Исходная остановка	Видное	55.538199, 37.723330	2484	Быт	1%	2%	1%	2%
19	Нарсуд	Исходная остановка	Видное	55.559673, 37.717650	2484	Быт	1%	2%	1%	2%
20	Олимпийская улица	Исходная остановка	Видное	55.547138, 37.693060	2484	Быт	1%	2%	1%	2%
21	Петровский проезд	Исходная остановка	Видное	55.539861, 37.662266	2484	Быт	1%	1%	1%	1%
22	Площадь	Исходная остановка	Видное	55.557478, 37.709573	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
23	Поликлиника	Исходная остановка	Видное	55.553728, 37.724399	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
24	Проспект Ленинского Комсомола	Исходная остановка	Видное	55.544544, 37.702019	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
25	Станция «Расторгуево»	Исходная остановка	Видное	55.549042, 37.686070	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
26	Станция «Расторгуево»	Аттрактор	Видное	55.549042, 37.686070	—	ТУ	35%	17,50%	8,75%	17,50%
27	Спасский проезд	Исходная остановка	Видное	55.542977, 37.649077	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
28	Суханово	Исходная остановка	Видное	55.529054, 37.660016	2 484	Быт	1%	1%	1%	1%
29	Таблово	Исходная остановка	Видное	55.549089, 37.742704	2484	Быт	1%	2%	1%	2%
30	Типографские дома	Исходная остановка	Видное	55.534403, 37.658369	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
31	Школа №2	Исходная остановка	Видное	55.555087, 37.702297	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
32	Школа милиции	Исходная остановка	Видное	55.541888, 37.669035	2484	Быт	1%	2%	2%	2%
33	Метро «Царицыно»	Аттрактор	Бирюлево Восточное	55.620681, 37.669612	—	ТУ	25%	12,50%	6,25%	12,50%

34	ТРЦ «Ве-гас»	Аттрактор	Видное	55.587404, 37.723454	—	Быт	5%	5%	15%	5%
35	ТК «Кон-структор»	Аттрактор	Видное	55.582892, 37.708896	—	Быт	1%	2%	3%	2%
36	Гипер-маркет «Лента»	Аттрактор	Видное	55.566776, 37.688423	—	Быт	1%	1%	5%	1%
37	Бирю-левский дендро-парк	Аттрактор	Бирю-лево Восточ-ное	55.593374, 37.673013	—	Быт	1%	2%	4%	2%
38	Парк «Царицы-но»	Аттрактор	Бирю-лево Восточ-ное	55.609759, 37.664842	—	Быт	1%	2%	5%	2%

Источник: данные авторов.

Приложение 4. Параметры моделирования по остановкам в районе «Бирюлево Восточное»

№	Название	Тип объекта	Территория	Координаты	Население	Тип аттрактора	Сила аттрактора			
							с 7:00 до 10:00	с 10:00 до 17:00	с 17:00 до 21:00	с 21:00 до 7:00
1	Загорьевский проезд, 7	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.573926, 37.665686	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
2	Почта	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.574433, 37.669652	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
3	Магазин	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.576591, 37.663124	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
4	5-й мкр Загорья	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.577824, 37.662439	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
5	Михневский проезд	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.577744, 37.668248	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
6	Михневская улица, 19	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.579482, 37.664170	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
7	Институт садоводства	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.581495, 37.671229	3 523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
8	Загорьевская, 10	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.580275, 37.677617	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
9	Ягодная улица	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.577132, 37.676389	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
10	Загорьевский проезд, 15	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.577331, 37.680507	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
11	Школа	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.585436, 37.667223	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
12	Лебедянская	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.587633, 37.665016	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
13	Травмпункт	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.587141, 37.666855	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%

14	Аптека	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.586762, 37.673024	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
15	Ряжская	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.589548, 37.672085	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
16	Поликлиника	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.590343, 37.667236	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
17	Лебедянская, 4	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.590343, 37.667236	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
18	Бирюлево-Пассажирская	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.582289, 37.661891	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
19	Бирюлево-Пассажирская	Аттрактор	Бирюлево Восточное	55.582289, 37.661891	–	ТУ	14,00%	10,00%	14,00%	10,00%
20	Мебельная фабрика	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.591262, 37.664271	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
21	Кинотеатр «Керчь»	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.591262, 37.664271	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
22	Бирюлево-Товарная	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.591262, 37.664271	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
23	Бирюлево-Товарная	Аттрактор	Бирюлево Восточное	55.591262, 37.664271	–	ТУ	14,00%	10,00%	14,00%	10,00%
24	Касимовская	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.599267, 37.653736	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
25	Бирюлевская улица	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.599722, 37.662441	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
26	Элеваторная	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.601844, 37.667452	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
27	Детская муз. школа	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.601844, 37.667452	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
28	Элеваторная 2	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.601844, 37.667452	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%

29	Мкр «Царицыно»	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.603689, 37.658148	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
30	6-я Радиальная	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.607366, 37.650491	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
31	6-я Радиальная, 20	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.607366, 37.650491	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
32	Завод «Огонек»	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.607544, 37.658453	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
33	Дуговая	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.607672, 37.662758	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
34	Стекольный завод	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.612033, 37.662154	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
35	6-я Радиальная, 10	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.609751, 37.664871	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
36	Финансовый колледж	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.605424, 37.668815	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
37	Липецкая	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.600980, 37.671174	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
38	Педагогическая	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.600980, 37.671174	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
39	Бирюлевский дендропарк	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.592431, 37.672833	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
40	Липецкая, 40	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.584037, 37.679249	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
41	Липецкая, 46	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.584037, 37.679249	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
42	Загорье	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.579772, 37.683422	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
43	Загорьевская, 29	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.583946, 37.698060	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%

44	Детский сад	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.585086, 37.694478	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
45	6-й мкр Загорья	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.585602, 37.691602	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
46	Липецкая, 7	Исходная остановка	Бирюлево Восточное	55.585602, 37.691602	3523	Быт	0,50%	1,00%	0,50%	1,00%
47	метро «Царицыно»	Аттрактор	Бирюлево Восточное	55.620681, 37.669612	–	ТУ	43,00%	20,00%	43,00%	20,00%
48	ТРЦ «Вегас»	Аттрактор	Видное	55.587404, 37.723454	–	Быт	3,00%	7,00%	3,00%	7,00%
49	Бирюлевский дендропарк	Аттрактор	Бирюлево Восточное	55.593374, 37.673013	–	Быт	2,00%	4,50%	2,00%	4,50%
50	Парк «Царицыно»	Аттрактор	Бирюлево Восточное	55.609759, 37.664842	–	Быт	2,00%	4,50%	2,00%	4,50%

Приложение 5. Статистика работы автобусов по Сценариям 1–3

Сценарий 1

Автобус	Общее расстояние, км	Общее расстояние пассажиров, км	Пассажи-ров доставлено	Часов при 80–100% загрузке	Часов при 50–80% загрузке	Часов при 20–50% загрузке	Часов при 0–20% загрузке
Standard #1	1,183.2	16,865.0	940	22	2	0	0
Standard #2	1,173.7	15,388.4	891	21	1	2	0
Standard #3	1,096.3	15,003.1	859	19	3	1	1
Standard #4	1,114.0	15,809.3	899	22	0	2	0
Standard #5	1,114.8	15,945.6	851	19	2	3	0
Standard #6	933.3	12,115.7	831	16	7	0	1
Standard #7	1,112.4	14,702.5	832	18	3	3	0
Standard #8	1,046.1	12,654.6	783	15	6	2	1
Standard #9	897.5	11,411.4	649	11	5	4	4
Standard #10	1,072.3	14,805.0	724	14	4	3	3
Standard #11	723.9	9,349.3	511	9	3	4	8
Standard #12	761.8	7,169.4	481	6	4	7	7
Standard #13	771.0	7,836.8	454	5	5	6	8
Standard #14	887.7	8,850.7	482	3	8	8	5
Standard #15	623.4	4,971.5	356	2	3	10	9
Standard #16	641.9	4,787.3	294	2	3	9	10
Standard #17	771.0	6,879.4	402	3	7	6	8
Standard #18	499.2	3,666.6	269	1	5	6	12
Standard #19	502.3	3,400.1	270	0	5	6	13
Standard #20	413.5	2,739.9	222	1	3	5	15

Сценарий 2

Автобус	Общее расстояние, км	Общее расстояние пассажиров, км	Пассажи-ров доставлено	Часов при 80–100% загрузке	Часов при 50–80% загрузке	Часов при 20–50% загрузке	Часов при 0–20% загрузке
Vid-Zar #1	1,489.1	20,202.7	960	24	0	0	0
Vid-Zar #2	1,377.9	18,910.6	923	22	2	0	0

Автобус	Общее расстояние, км	Общее расстояние пассажиров, км	Пассажи-ров доставлено	Часов при 80–100% загрузке	Часов при 50–80% загрузке	Часов при 20–50% загрузке	Часов при 0–20% загрузке
Vid-Zar #3	1,347.2	18,504.0	891	21	1	2	0
Vid-Zar #4	1,309.3	16,279.0	846	18	4	1	1
Vid-Vegas #1	930.3	9,494.3	573	4	13	5	2
Vid-Vegas #2	772.6	6,504.1	480	5	6	9	4
Vid-Vegas #3	706.2	3,979.0	328	0	5	14	5
Vid-Vegas #4	503.7	2,148.2	211	0	1	11	12
Bir-Vegas #1	850.7	11,576.1	902	21	2	1	0
Bir-Vegas #2	799.3	9,779.2	833	18	3	2	1
Bir-Vegas #3	841.3	12,236.6	857	19	4	0	1
Bir-Vegas #4	713.8	8,885.2	775	14	5	5	0
Standard #1	948.1	9,259.3	677	11	7	3	3
Standard #2	614.6	6,286.3	511	7	6	4	7
Standard #3	712.5	5,264.3	468	5	6	8	5
Standard #4	563.4	4,059.3	347	2	5	6	11
Standard #5	602.4	4,790.0	344	1	7	5	11
Standard #6	677.4	4,615.7	363	0	7	10	7
Standard #7	715.2	5,684.8	399	3	5	8	8
Standard #8	639.8	5,016.3	312	3	4	4	13

Сценарий 3

Автобус	Общее расстояние, км	Общее расстояние пассажиров, км	Пассажи-ров доставлено	Часов при 80–100% загрузке	Часов при 50–80% загрузке	Часов при 20–50% загрузке	Часов при 0–20% загрузке
Vid-Zar #1	1,464.3	19,954.8	960	24	0	0	0
Vid-Zar #2	1,459.5	21,557.5	953	24	0	0	0
Vid-Zar #3	1,474.6	20,858.3	905	22	1	0	1
Vid-Zar #4	1,609.7	23,999.4	902	22	1	0	1
Vid-Vegas #1	921.5	9,557.0	559	6	7	8	3
Vid-Vegas #2	668.4	4,778.2	413	1	9	8	6

Автобус	Общее расстояние, км	Общее расстояние пассажиров, км	Пассажи-ров доставлено	Часов при 80–100% загрузке	Часов при 50–80% загрузке	Часов при 20–50% загрузке	Часов при 0–20% загрузке
Vid-Vegas #3	650.1	4,717.9	370	0	9	6	9
Vid-Vegas #4	527.9	2,506.0	237	0	1	11	12
Bir-Vegas #1	927.6	12,999.8	949	23	1	0	0
Bir-Vegas #2	879.8	12,968.8	946	24	0	0	0
Bir-Vegas #3	962.6	12,748.7	831	18	3	2	1
Bir-Vegas #4	917.6	12,583.9	892	20	4	0	0
Vidnoe #1	359.8	1,532.6	139	0	0	7	17
Vidnoe #2	362.6	1,179.5	157	0	0	8	16
Vidnoe #3	225.7	454.4	70	0	0	2	22
Vidnoe #4	228.9	589.0	83	0	0	3	21
Birulevo #1	720.8	7,349.5	716	14	4	5	1
Birulevo #2	606.2	5,425.0	514	2	11	8	3
Birulevo #3	505.8	5,269.9	519	4	9	8	3
Birulevo #4	423.9	3,019.3	366	2	7	7	8

Источники

- Сатунин С.В. (2009) Применение комбинаторных аукционов для планирования маршрутов в моделировании задачи «Транспорт по запросу»//Бизнес-информатика. № 4 (10). С. 3–9.
- Burgstaller S. et al. (2017) Rethinking Mobility//Equity Research. Режим доступа: <https://docplayer.net/47862070-Rethinking-david-tamberrino-cfa-goldman-sachs-and-co-llc.html> (дата обращения: 20.03.2021).
- Ganter R., Berrisford C., Dennean K., Dessloch S. (2017) Longer Term Investments. Smart Mobility//Chief Investment Office Americas, Wealth Management. UBS.
- Gkiotsalitis K., Stathopoulos A. (2016) Demand-responsive Public Transportation Re-Scheduling for Adjusting to the Joint Leisure Activity Demand//International Journal of Transportation Science and Technology. Vol. 5. No.2. P. 68–82.
- Guze S. (2014) Graph Theory Approach to Transportation Systems Design and Optimization//The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. No. 8 (4). P. 571–578.
- Hazan J.N.L., Wegscheider A.K., Fassenot B. (2019) On-Demand Transit Can Unlock Urban Mobility//Boston Consulting Group. Режим доступа: <https://www.bcg.com/en-au/publications/2019/on-demand-transit-can-unlock-urban-mobility.aspx> (дата обращения: 20.03.2021).
- Linares MP, Barceló J., Carmona C., Montero L. (2016) Analysis and Operational Challenges of Dynamic Ride Sharing Demand Responsive Transportation Models//Transportation Research Procedia. No. 21. P. 110–129.
- Litman T. (2013) The New Transportation Planning Paradigm//ITE Journal. Vol. 83. No. 6. P. 20–24, 26, 27.
- Liyanage S., Dia H., Abduljabbar R., Bagloee S.A. (2019) Flexible Mobility On-Demand: An Environmental Scan//Sustainability. No. 11 (5). P. 1262.
- Liyanage S., Dia H. (2020) An Agent-based Simulation Approach for Evaluating the Performance of On-Demand Bus Services//Sustainability. No. 12 (10). P. 4117.
- Mageean J., Nelson J. (2003) The Evaluation of Demand Responsive Transport Services in Europe//Journal of Transport Geography. No. 11. P. 255–270.

- McKenna C., Clarke S., Golpayegani F. (2019) Floating Buses: Dynamic Route Planning and Passenger Allocation Based on Real-time Demand//IEEE 5th International Conference on Computer and Communications (ICCC). P. 2203–2207.
- Rissanen K. (2016) Kutsuplus – Final Report//Helsinki Regional Transport Authority (HSL). Режим доступа: https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/8_2016_kutsuplus_finalreport_english.pdf (дата обращения: 20.03.2021).
- Transdev (2018) First- and Last-Mile Solutions. Режим доступа: <https://cdn.transdev.com/wp-content/uploads/2017/03/5bc8f37-3668-POE-LMFM-pour-le-WEB-GB-05-2018.pdf> (дата обращения: 20.03.2021).
- Wang S., Lin W., Yang Y., Xiao X. (2015) Efficient Route Planning on Public Transportation Networks//Conference: The 2015 ACM SIGMOD International Conference. P. 967–982.
- Zhou H., Dorsman J.L., Snelder M., de Romph E., Mandjes M. (2019) GPU-based Parallel Computing for Activity-based Travel Demand Models//Procedia Computer Science. Vol. 151. P. 726–732.

PAVEL DONSKOI, PETR MALAKHALTSEV

ON-DEMAND:

ADAPTIVE ROUTES FOR PUBLIC TRANSPORTATION

Pavel M. Donskoi, project manager, RoadAR LLC; 7 Universitetskaya str., Innopolis, The Republic of Tatarstan, 420500, Russian Federation.

E-mail: pavel.donskoy@gmail.com

Petr M. Malakhaltsev, CTO, FST-Integro LLC; 102 Sportivnaya str., Innopolis, The Republic of Tatarstan, 420500, Russian Federation.

E-mail: malakhaltsev@gmail.com

Abstract

This article considers the concepts and principles of adaptive public transport: shuttles carrying passengers on request, without fixed stops, with the ability to adjust their routes on demand. The route calculation is based on a multifactor model, where the goal is to minimize the distance traveled by shuttle, waiting time and travel time. We describe algorithms to balance these parameters with data collected in Innopolis city (a satellite city of Kazan, the capital of the Republic of Tatarstan) where an on-demand shuttle has operated since June 2018. The results of comparative modeling of on-demand transport systems with different degrees of flexibility and specific road networks are presented. We compared technical and economic indicators and the quality-of-service parameters of models with different degrees of flexibility but with the same parameters for the number of vehicles and passenger traffic. The results show the efficiency of the combination of adaptive routes with varying degrees of flexibility within the service operation area. The optimal combination of routes was where some of the vehicles are allocated to serve well-predicted passenger flows, with small deviations from the main route; the rest of the vehicles are without route or schedule restrictions, moving to the areas and in the directions where demand increases at different periods.

Key words: public transportation; smart mobility; smart city; on demand mobility; van-sharing; vanpooling

Citation: Donskoi P., Malakhaltsev P. (2019) On-Demand: Adaptive Routes for Public Transportation. *Urban Studies and Practices*, vol. 4, no 4, pp. 93–125. (in Russian) DOI: <https://doi.org/10.17323/usp44201993-125>

References

- Burgstaller S. et al. (2017) Rethinking mobility. *Equity Research*.
- Ganter R., Berrisford C., Dennean K., Dessloch S. (2017) Longer Term Investments. Smart mobility. *Chief Investment Office Americas, Wealth Management*. UBS.
- Gkiotsalitis K., Stathopoulos A. (2016) Demand-responsive Public Transportation Re-Scheduling for Adjusting to the Joint Leisure Activity Demand. *International Journal of Transportation Science and Technology*, vol. 5, no 2, pp. 68–82.
- Guze S. (2014) Graph Theory Approach to Transportation Systems Design and Optimization. *The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, no 8 (4), pp. 571–578.
- Hazan J.N.L., Wegscheider A.K., Fassenot B. (2019) On-Demand Transit Can Unlock Urban Mobility. *Boston Consulting Group*. Available at: <https://www.bcg.com/en-au/publications/2019/on-demand-transit-can-unlock-urban-mobility.aspx> (accessed 20 March 2021).
- Linares MP., Barceló J., Carmona C., Montero L. (2016) Analysis and Operational Challenges of Dynamic Ride Sharing Demand Responsive Transportation Models. *Transportation Research Procedia*, no 21, pp. 110–129.
- Litman T. (2013) The New Transportation Planning Paradigm. *ITE Journal*, vol. 83, no 6, pp. 20–24, 26, 27.
- Liyanage S., Dia H., Abduljabbar R., Bagloee S.A. (2019) Flexible Mobility On-Demand: An Environmental Scan. *Sustainability*, no 11 (5), p. 1262.
- Liyanage, S.; Dia, H. (2020) An agent-based simulation approach for evaluating the performance of on-demand bus services. *Sustainability*, no 12 (10), p. 4117.
- Mageean J., Nelson J. (2003) The Evaluation of Demand Responsive Transport Services in Europe. *Journal of Transport Geography*, no 11, pp. 255–270.

- McKenna C., Clarke S., Golpayegani F. (2019) Floating Buses: Dynamic Route Planning and Passenger Allocation Based on Real-Time Demand. *IEEE 5th International Conference on Computer and Communications (ICCC)*. p. 2203–2207.
- Rissanen K. (2016) Kutsuplus – Final report. *Helsinki Regional Transport Authority (HSL)*. Available at: https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/8_2016_kutsuplus_finalreport_english.pdf (accessed 20 March 2021).
- Satunin S.V. (2009) Primenenie kombinatornykh auktsionov dlya planirovaniya marshrutov v modelirovanii zadachi «Transport po zaprosu» [Combinatorial Auctions for Route Planning in Modeling the on Demand Transport]. *Biznes-informatika* [Business-Informatics], no 4 (10), pp. 3–9. (in Russian)
- Transdev (2018) First- and Last-mile Solutions. Available at: <https://cdn.transdev.com/wp-content/uploads/2017/03/5bc8f37-3668-POE-LMFM-pour-le-WEB-GB-05-2018.pdf> (accessed 20 March 2021).
- Wang S., Lin W., Yang Y., Xiao X. (2015) Efficient Route Planning on Public Transportation Networks. *Conference: the 2015 ACM SIGMOD International Conference*, pp. 967–982.
- Zhou H., Dorsman J.L., Snelder M., de Romph E., Mandjes M. (2019) GPU-based Parallel Computing for Activity-based Travel Demand Models. *Procedia Computer Science*, vol. 151, pp. 726–732.

АРТЕМ ГЕРАСИМЕНКО

ПРИНЦИПЫ СПРАВЕДЛИВОЙ МОБИЛЬНОСТИ КАК ОСНОВНОЙ ОТВЕТ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ КРИЗИСЫ

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ МИМИ ШЕЛЛЕР «СПРАВЕДЛИВАЯ МОБИЛЬНОСТЬ:
ПОЛИТИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ЭПОХУ КРАЙНОСТЕЙ»

Артем Герасименко, магистр строительства (РУДН), магистр городских исследований (Манчестерский университет), основатель Центра изучения массового спорта «Здоровые города»; Российская Федерация, 105082, Москва, Спартаковская пл., д. 14, стр. 3.

E-mail: artem.gerasimenko@gmail.com

Книга Мими Шеллер «Справедливая мобильность: политика перемещения в эпоху крайностей» посвящена политическим и этическим аспектам современных политик мобильности и предлагает список принципов, основываясь на которых можно было бы сделать эти политики более справедливыми в отношении ущемленных сейчас групп. За описанием основных глобальных вызовов следуют главы, в которых мобильность и справедливость рассматриваются через различную оптику: телесную, инфраструктурную, миграционную и климатическую. Концепции мобильности рассматриваются в контексте перемещений людей, ресурсов и информации. Симптоматичные явления в этих сферах оцениваются с точки зрения их влияния в масштабе города, страны или планеты. По итогам широкого обзора практик Шеллер предлагает набор из 28 принципов, следование которым будет способствовать установлению более справедливых режимов мобильности в рассмотренных ей сферах. Принципы носят в целом прикладной характер, однако подразумевают глубокое переосмысление таких устоявшихся сфер, как международный туризм, логистика энергетических ресурсов и регулирование офшорных зон. Однако при обращении к книге стоит учитывать, что издана она была в 2018 году, а материалы собирались в предшествующие публикации годы, то есть заметно раньше событий 2020 года, которые добавили проблеме глобализации еще и ярко выраженный эпидемиологический аспект.

Ключевые слова: справедливая мобильность; политические и этические дилеммы; кризис урбанизации; климатический кризис; политика перемещения

Цитирование: Герасименко А. (2019) Рецензия на книгу Мими Шеллер «Справедливая мобильность: политика перемещения в эпоху крайностей» // Городские исследования и практики. Т. 4. № 4. С. 126–138. DOI: <https://doi.org/10.17323/usp442019126-138>

Весной 2020 года во всем мире закрывались границы, самолеты ставились на долгую стоянку, круизные лайнеры швартовались в портах без права схода на берег. Параллельно в США проходили массовые гражданские протесты, спровоцированные жесткостью полицейских по отношению к темнокожим. Книга Мими Шеллер «Справедливая мобильность: политика перемещения в эпоху крайностей» [Sheller, 2018] была опубликована за два года до этого, поэтому, обращаясь к ней, важно учитывать, что материалы для нее собирались в предшествующие публикации годы, то есть задолго до карантина, накрывшего мир в 2020 году. Книга посвящена проблеме мобильности, то есть перемещения человека

между разными географическими точками, социальными стратами и статусами самоопределения.

Мими Шеллер — профессор социологии и директор «Центра исследований и политик мобильности» в Дрексельском университете, частном исследовательском университете в Филадельфии, США. За плечами Шеллер — бакалавриат по истории и литературе, магистратура и докторантура по социологии. Ее первая книга «Демократия после рабства: темнокожие народы и сельский радикализм на Гаити и Ямайке» («Democracy After Slavery: Black Publics and Peasant Radicalism in Haiti and Jamaica») [Sheller, 2000], посвященная постколониальному развитию карибских

стран, в 2002 году получила специальную награду издательства Ассоциации колледжей и научных библиотек Choice Magazine за выдающуюся научную работу. Ее первой важной публикацией по теме мобильности стала глава в сборнике 2006 года «Парадигма новых мобильностей» (The New Mobilities Paradigm) [Sheller, Urry, 2006]. Она посвящена тому, как современные технологии формируют новый тип дистанционных связей, которые напрямую и критически влияют на социальную жизнь. В 2014 году была опубликована работа «Мобильности и локальные медиа: мобильные коммуникации» (Mobility and Locative Media: Mobile Communication) [Sheller, 2014] о связи локальных трансформаций и мобильности в контексте технологий связи и медиа. Подробнее о профессиональной жизни Шеллер, ее многочисленных лекциях и статьях, ставших важными этапами на пути к написанию данной книги, читатель узнает из предисловия, где она также выделяет повлиявшие на нее мировые события: миграционный кризис 2015 года, связанный с беженцами из Сирии, движение Black Lives Matter и рост насилия в Америке и Мексике.

О размахе замысла автора свидетельствует уже оглавление книги — 6 глав с введением и заключением, в которых широко и многомерно диагностируются проблемы мобильности, а затем предлагаются гипотезы о переустройстве этой сферы. Для этого автор последовательно и на примерах рассматривает физическую мобильность в контексте индивидуальных параметров человека, транспортную справедливость в контексте автомобилизации, инфраструктурную справедливость в контексте умных городов, справедливую миграцию в контексте мобильных границ и климатическую справедливость в контексте глобальной экологии. В качестве дополнения предлагаются принципы организации справедливой мобильности во всех сферах с учетом рассмотренных кейсов.

В предисловии книги автор рассказывает о разрушительных ураганах, бушевавших во время работы над текстом у побережья США и на островах Карибского бассейна, — «Ирме», «Марине» и «Катрине». Уничтожая инфраструктуру и ломая привычный уклад сотен тысяч людей, природные катаклизмы, по ее словам, обнажают систему неравенства и глубокую классовость общества. Этот тезис иллюстрируется рассказом о том, как американские компании эксплуатируют труд и ре-

сурсы пострадавших государств, очень мало давая взамен, но при этом производя выброс в атмосферу, ведущий к климатическим изменениям и, как следствие, усилению тайфунов и ураганов. Со ссылкой на британского историка Эрика Хобсбаума [Хобсбаум, 2004] она рассказывает о концепции XX века как века крайностей, где проблема климата оказывается одной из критически важных для будущего всего человечества.

Ключом к снижению выбросов считается изменение парадигмы мобильности — снижение зависимости от автомобилей, отказ от развития углеродного топлива, переосмысление энергетических систем. Однако Шеллер предлагает смотреть на понятие мобильности шире — задуматься о роли стены между США и Мексикой, о движении против полицейского насилия Black Lives Matter, активизировавшемся летом 2020 года в связи с трагическими событиями, о движении Me Too, актах поддержки борьбы с расовой дискриминацией во время матчей Национальной футбольной лиги США и о сторонниках велосипедизации. Все эти движения, основанные на коллективных действиях, объединяет их борьба за право на более справедливое распределение возможностей. Так, для женщин важна борьба за право не подвергаться сексуальному насилию, а для квир-сообществ — право на небинарную идентификацию. Вместе они собирают значительное число людей и приобретают серьезный социальный и политический вес.

Научные подходы к решению проблем мобильности Шеллер также считает разнообразными, но сфокусированными на пересекающихся темах, например городах глобального Юга. Согласно ее системе взглядов, мобильность является мультидисциплинарным предметом и должна рассматриваться как совокупность телесных практик, материального перемещения, цифровых коммуникаций, инфраструктуры и систем управления идеологией и репрезентацией. Цель книги — показать основные проблемы устройства современного мира и предложить ряд принципов для их решения.

В своей работе Шеллер характеризует сложившуюся в мире к моменту написания книги ситуацию как «тройной кризис», в котором сплелись воедино климатический кризис, кризис урбанизации и миграционный кризис.

Задачей книги автор видит выявление связей между тремя этими кризисами из раз-

ных сфер и формулирование проблемы, решение которой способно повлиять на их преодоление. Для этого она вводит понятие «(им)мобильности» (*(im)mobilities*) как основной характеристики режима существования субъекта независимо от контекста и сферы. Другим измерением, которым предлагает оперировать Шеллер, является масштаб. Именно благодаря масштабу проблема (им)мобильности, часто рассматриваемая как локальная недоступность городской инфраструктуры, может быть одинаково плодотворно спроецирована и на межличностное общение, и на движение энергии и планет в космосе.

Справедливую мобильность Шеллер собирается рассматривать не только в контексте городского транспорта, но и как изменения на личностном уровне под влиянием расовых, социальных, гендерных и прочих факторов, как пересечение границы в различных жизненных сценариях — от беженца до студента элитного колледжа, а также как перемещение товаров и услуг по цепочкам производства и потребления в глобальном масштабе. Все факторы, влияющие на ход этих процессов и на их участников, должны быть систематизированы и рассмотрены в связке между собой, считает автор книги, ведь в противном случае новую парадигму мобильности создать не получится.

Для изучения этого сложного комплекса исследовательница предлагает рассматривать одновременно движение объектов, людей и информации, выявляя связи между микро- и макроуровнями и определяя новые перспективы взглядов на проблемы. Несколько таких перспектив она сразу же предлагает.

Климатический кризис мыслится ею как результат непомерного желания двигаться, которое при нынешних темпах к 2100 году может привести к тотальному краху биосферы. Рост числа ураганов, наводнений и пиков аномальной жары — примеры основных его проявлений. С мобильностью этот кризис связывается следующим образом. Во-первых, основной объем выхлопных газов выбрасывают транспортные средства. Во-вторых, освоение диких земель разрушает экосистемы, строительство также генерирует значительный выброс вредных веществ. В-третьих, изменение климата стимулирует людей менять место жительства, перемещаться и бросать уже созданные ресурсные базы и инфраструктуры.

Работа по снижению скорости изменения климата является не только инженерной,

но социальной, политической, экономической и культурной задачей. Наблюдая ситуацию в мире в целом, Шеллер констатирует, что пока все достижения в этом направлении меркнут на фоне негативных трендов (в 2017 году это рост потребления углеводородов и выход США из Парижских климатических соглашений).

Кризис урбанизации — повсеместный рост и расползание городов, усиление зависимости городской жизни от автомобилей и рост количества ресурсов, необходимых для поддержания работы городов. Итог этого кризиса — пробки, грязный воздух, перебои с электричеством и водой, потеря биоразнообразия.

Более того, растущие мегаполисы становятся все менее гибкими перед лицом последствий климатических изменений, что не позволяет эффективно внедрять технологии устойчивого роста, а это, в свою очередь, делает их вместе с жителями более уязвимыми для будущих катастроф. Эффективными в этой ситуации мерами Шеллер считает такие новые тренды, как транспортный шеринг и беспилотные автомобили, но тут же ссылается на ученого Тима Шванена, поставившего вопрос о том, кто на самом деле является пользователем и бенефициаром подобных нововведений, ведь, по мнению исследователей, в жизни бедных людей они не меняют ничего, так как остаются недоступными [Schwanen, 2016].

Миграционный кризис описывается как комплекс событий — волны миграции из охваченных войнами и насилием стран, смерть тысяч беженцев в пути, существование на грани выживания в специальных лагерях, маргинализация и полная исключенность из полноценной жизни даже в случае успешного пересечения границ благополучных государств. Связывая войны на Ближнем Востоке с борьбой стран за контроль над нефтяными месторождениями, Шеллер приходит к выводу, что мобильность и экономика потребления сыграли свою роль в провоцировании миграционного кризиса.

Чтобы эффективно бороться с представленными кризисами, Шеллер предлагает обратиться к парадигме новых мобильностей [Sheller, Urry, 2006], которую она подробно объясняет во введении. Вкратце, суть подхода сводится к мультидисциплинарному взгляду на мобильность как сферу, которая существовала во все времена и развитие которой предвосхищало возникновение новых объектов, пространств и измерений. Более

ранним аналогом новой мобильности объявляется пространственный поворот — интеллектуальное направление в гуманитарных науках, делающее акцент на роли места и пространства и оперирующее количественными методами.

Далее автор вводит понятие кинетической политики как системы политик, затрагивающих вопрос мобильности, и признает эту систему сильной формой власти, имеющей глубокую историческую основу. В качестве основополагающей работы по этой теме приводится исследование Хагар Котеф [Kotef, 2015], изучавшей либерализм как режим регулирования свободы передвижения. В этом исследовании, в частности, утверждается, что «свобода передвижения для одних всегда ограничивает или отрицает существование других». По мнению Котеф, любое пространство, где происходит движение, становится политическим, а отношения в нем формируются исходя из существующих возможностей и преград. Таким образом, подчеркивается важность контроля над сферой мобильности в любой политической системе.

Изучая проблемы мобильности в сферах транспорта, расовой сегрегации и климатического неравенства, Шеллер предлагает использовать выработанные методы гармонизации для создания более справедливых социальных и государственных систем. Согласно ее концепции, для этого необходимо будет сфокусироваться на следующих вопросах:

- a) несправедливость в сфере телесности: гендер, возраст, раса, способности, сексуальная ориентация и вызванная другими индивидуальными особенностями несправедливость: зависимость, угнетенность, расовая и классовая сегрегация, эмансипация, бесправность квир-сообществ и людей с особенностями развития;
- b) борьба за права на город, свободу передвижения, а также несбалансированное развитие на уровне городов, регионов, стран и всего мира;
- c) транснациональная мобильность в виде пересечения границ, торговли рабским трудом и регламентов депортации;
- d) политика обращения товаров, услуг, ресурсов и отходов как на глобальном, так и повсеместно на локальном уровнях.

Кроме того, Шеллер обращает внимание, что задачей вовсе не является стимулировать мобильность, ведь иногда — например, в случае беженцев или интервентов — она сама может быть символом неприятия существующего режима мобильности и попытки его избежать или изменить. Учитывая, что в истории есть ряд успешных примеров таких изменений [Sheller, Urry, 2006; Cresswell, 2011], Шеллер доказывает перспективность дальнейших изменений существующего режима мобильности через изучение сложившейся ситуации и выстраивание новой системы мобильности на ее основе.

О понятии «справедливая мобильность»

В первой главе книги Шеллер определяет основные понятия своей концепции — в первую очередь, вынесенные в заголовок. Мобильность она предлагает понимать в контексте более широком, чем это принято, расширяя ее применение на расу, гендер, социальные позиции, публичное пространство, национальность и доступ к ресурсам. Справедливость рассматривается с утилитаристской, либертарианской, эгалитаристской философских позиций, а также через оптику подхода учета возможностей (*capabilities approach*). Не остаются без внимания и практические механизмы построения и реализации модели справедливости, такие как совещательный, процедурный, партисипаторный и другие, а также контекст их применения.

Почти каждый из существующих подходов подвергается критике либо за понимание предмета справедливости как статичного, не меняющегося во времени, либо за понимание мобильности как исключительно физического перемещения между двумя точками, которое считается тем эффективнее, чем меньше трат и времени оно требует. Утилитаризм критикуется Шеллер за сфокусированность на интересах большинства и полное исключение из картины мира интересов меньшинств, а основным недостатком либертарианского подхода оказывается ориентация на индивидуализм и дерегулирование, которые в перспективе могут вести к разрушению общего блага и ухудшению по всем направлениям, требующим коллективной работы. Подход равных возможностей (а именно перераспределение благ от групп более обеспеченных в пользу менее обеспеченных) рассматривается как, с одной стороны, наиболее применимый, а с другой — неизменно

ведущий к росту индивидуальных перемещений и увеличению издержек для городской планировки и экологии.

Подробно разбирается подход, ориентированный на создание «доступной мобильности». Он был описан Карелом Мартенсом в книге «Транспортная справедливость: Разработка честных систем» (*Transport Justice: Designing Fair Transport Systems*) [Martens, 2016]. Согласно Мартенсу, справедливые транспортные системы должны: а) проектироваться человекоцентричными, б) не ставить транспортную эффективность в приоритет, в) отказаться от зависимости прямого дохода общественного транспорта и его финансирования. Впрочем, этот подход также отвергается, поскольку игнорирует планировочный и политический контексты.

По мысли Шеллер, важным шагом на пути к созданию справедливой мобильности мог бы стать запуск комплексного переосмысления основных ценностей с последующим решением, что должно регулироваться, что не должно, кто и как должен принимать конечное решение.

Глава завершается проблематизацией справедливого распределения пространства и ресурсов для его развития и указанием на зависимость неравенства от культурно-исторического, биополитических и геополитических контекстов разных странах, а также на дополнительное измерение, которое приобретает мобильность на колонизированных и деколонизированных территориях.

Влияние персональных человеческих особенностей на мобильность

Во второй главе обсуждаются проблемы физической мобильности и ограничительные режимы мобильности, основанные на материальной сфере. Согласно Шеллер, все элементы внешней среды или способствуют, или препятствуют физической мобильности.

Особую важность исследовательница придает проблеме низкой ориентированности современной транспортной политики на людей с разным гендерным самоопределением. Наиболее вероятную причину этой ситуации открывает статистика — основными авторами законов и проектов в этой сфере являются белые мужчины среднего возраста с техническим образованием, без особенностей личной мобильности и без глубокого перспективного взгляда на проблемы меньшинств. Поэтому борьба меньшинств за свои права включает

в себя и изменение отношения к проектированию мобильности и распределения пространства. Слабое развитие универсального дизайна, выраженное в неприспособленности городской среды к передвижению людей с ограниченными возможностями перемещения, классифицируется здесь как дискриминационная и дегуманизирующая политика. Подчеркивается ее распространенность в отношении детей и стариков.

Особое внимание уделяется истории колониализма как крайне жесткой и продолжительной практики переселения и принудительной иммиграции огромного количества людей по расовому признаку. Масштабные исследования, проведенные Шеллер в предыдущие годы [Sheller, 2003; Sheller, Urry, 2006; Sheller, 2013; Sheller, 2016], позволяют ей раскрыть этот сюжет весьма подробно. Сегрегация, сохранившаяся и после отмены рабства, стала причиной неравенства возможностей и ограничения передвижения жителей определенных районов. Примером может служить градостроительная программа Роберта Мозеса в Нью-Йорке, по замыслу которой высота пролетов мостов не позволяла проехать к местам отдыха автобусам из бедных районов, населенных бедными афроамериканцами. Доказанное статистикой внимание дорожной полиции к водителям с темным цветом кожи также является ограничением мобильности, основанным на неравенстве.

Роль автомобилизации в создании неравенства

В мире, где автомобиль — второй по популярности потребления предмет владения после жилья, он является квинтэссенцией промышленного производства, а построенная на владении автомобилем система — доминирующей. С этого тезиса из своей совместной с Джоном Урри работы [Sheller, Urry, 2006] начинается эту главу Мими Шеллер.

Приводя в пример все негативные эффекты столь широкого распространения автомобиля, автор отмечает не только низкую динамику выхода из этой ситуации в США «в отличие от многих других индустриальных стран», но и обстоятельства, благоприятные для роста популярности личных автомобилей.

В главе активно критикуется популярная теория смещения фокуса с развития систем городской мобильности на развитие общественных пространств. В качестве мощного аргумента против приводится схема класси-

ческой джентрификации, при реализации которой развитие городской среды ведет к росту стоимости недвижимости, оттоку бедного населения, а затем и среднего класса. Проблема возникает, когда жизнь в основных городских районах могут позволить себе немногие, но большинство рабочих мест расположены именно там — на работу нужно добираться, часто делать это издалека, а для этого нужны развитые мультимодальные транспортные системы. Таким образом, развитие среды без развития мобильности провоцирует рост неравенства и воспроизводит бедные районы с теми же барьерами, что и всегда.

Интересно, что в заданной оптике политика повышения барьера на владение автомобилем усиливает поляризацию общества на богатых, которые могут себе это позволить, и бедных. Вдобавок из-за низкой доступности медицины бедные страдают от загрязняющих воздух автомобильных выхлопов чаще, чем богатые.

Тем не менее автором отмечается позитивная динамика — смена поколений, развитие технологий и долгосрочное планирование экологии влияют на число автомобилей и поездок даже в крупнейших американских городах, распланированных для автомобилистов. Совокупный эффект от всех факторов может снизить число автомобилей в городах на $\frac{3}{4}$, уменьшив число выбросов на 80%. Но создать справедливую систему мобильности без согласованных и жестких регулирующих мер вряд ли получится. А по достижении согласованности потребуются огромные вложения в саму трансформацию инфраструктуры.

Справедливое распределение инфраструктуры

В главе анализируется влияние расположения и характера инфраструктурных объектов на справедливость кинетической политики. В пример приводятся энергетические сети и другие масштабные сооружения, которые выгодны или полезны людям, живущим, как правило, далеко от них. Но у крупных объектов помимо прямых осязаемых эффектов есть еще множество дополнительных — смысловых, культурных, эмоциональных. Сети коммуникаций, системы водоснабжения и энергетические сети также рассматриваются как пространство мобильности для соответствующих субстанций. В зависимости от своего масштаба они могут либо подчиняться устройству окружающего пространства, либо

подчинять это пространство себе. Еще один обсуждаемый Шеллер процесс инфраструктурной мобильности — непрекращающийся переезд фабрик и заводов, строительство и деконструкция портов, перенос дорог и прочие явления индустриального мира.

В середине главы исследовательница внезапно делает отступление, чтобы сфокусироваться на инфраструктуре коммуникации как критически важной для возникновения и разрешения ситуаций политического противостояния. Так, сотовая связь позволяет общаться без физического сближения людям в городах и отдаленных уголках мира, причем вторые могут быть как местами добычи и производства, так и местами отдыха.

Затем Шеллер переходит к обсуждению проблемы влияния стихийных бедствий на инфраструктуру и будущее отдельных территорий. Дело в том, что распределение ресурсных центров, а также доступность пострадавших районов напрямую влияют на то, как быстро и насколько качественно будет оказана помощь пострадавшим людям и поселениям. Такая пространственная зависимость создает замкнутый круг: регулярно разрушающиеся районы, находящиеся ближе к ресурсам, оперативно восстанавливаются; напротив, удаленные районы в точно такой же ситуации повторяющихся бедствий постепенно разрушаются все больше, так как не успевают восстановиться.

Отмечается также опасность стихийных бедствий для закрытых устойчивых систем, например островных. Внезапное нарушение режимов мобильности в таких системах вызывает сбой во всех цепочках поставок и социальных взаимодействий, что порождает хаос и резкое падение уровня жизни. В этой связи Шеллер упоминает исследовавший ее опыт Гаити [Sheller, 2013]. Одновременно стихийные бедствия не меньше, чем войны, способны спровоцировать сотни тысяч людей покинуть место жительства в поисках нового дома. Таким образом, стихийные бедствия оказываются частью одновременно трех кризисов, о которых в начале книги рассуждала автор, — климатического кризиса, кризиса урбанизации и миграционного кризиса.

Глава продолжается рассказом об актуальном на 2018 год состоянии развития умных городских технологий — интернета вещей и машинного обучения систем сервисов, постепенно исключая человека из операционной деятельности. Геоинформационные

социальные сети и цифровизация территорий создают новую гибридную действительность — технопространственную. Она отличается непрерывным взаимодействием людей с инфраструктурой через данные и создает возможности для выстраивания городов и систем с распределенными ресурсами, что, в свою очередь, может приблизить закат капитализма. При этом в процессе проектирования «технологически умных» городов неизменно встает вопрос целевой аудитории — для кого создается проект, какие люди будут здесь жить, какие работать, а какие — отдыхать? Где провести границу между автоматизацией и ручным управлением, насколько широко можно использовать личные данные в процессе создания адаптирующихся сервисов? Очевидных ответов нет.

Еще одной неожиданной частью этой главы является рассмотрение капитала как мобильного субъекта, перемещающегося по миру и часто обнаруживаемого в офшорных зонах вроде стран Карибского бассейна. Сами страны не всегда много выигрывают от своего положения, но создаваемые офшорными потоками режимы мобильности играют большую роль, и их определенно не стоит игнорировать. Шеллер предлагает этим странам вести с резидентами офшоров интенсивную регуляторную работу.

Границы государств и ограничения мобильности

В пятой главе Шеллер переходит к анализу уже заявленных ранее аспектов мобильности в более широком, глобальном масштабе и включает в спектр обсуждаемых вопросов транснациональные границы, туризм и миграцию.

Паспорт, границы и гражданство оказываются основополагающими элементами регулирования межстрановой мобильности, формировавшимися на протяжении долгого времени. Границы же — объект, парадоксально сочетающий в себе как функцию пропуска, так и функцию линии ограничения. Содружества государств с единой системой границ вроде стран Шенгенского союза имеют преимущество в виде безвизового доступа внутри этих границ и внешний атрибут в виде жесткого визового порога. Впрочем, и этот порог не сдержал напор нескольких волн беженцев, хлынувших из стран Ближнего Востока и Африки после ряда потрясений — государственных переворотов, этнических войн и экономических кризисов. Правитель-

ства стран Европы оказались в сложном положении, будучи зажаты между соблюдением гуманитарных ценностей, гражданской солидарностью с беженцами и угрозой нарастания националистических настроений.

Предпринимаемый Шеллер подробный экскурс в историю формирования миграционных политик различных регионов с акцентом на США позволяет увидеть, как любые шаги в этой сфере становятся предметом политической борьбы. Важную роль в этой борьбе играют активистские организации. Например, движение «Нет границам», последовательно выступающее за отмену трансграничности, придерживается позиции, что гражданство и доступ на территорию стран исключительно по визам поддерживают монополию государств на контроль перемещений и стимулируют сегрегацию людей по такому признаку, как гражданство.

Констатируется динамичность самого понятия «границы». Помимо территориальных страновых границами также являются пределы зон, где заканчивается влияние норм и правил крупных организаций и альянсов (например, ВТО); также границы могут иметь территориальные образования внутри государств, не подчиняющиеся государственному контролю (например, приграничные лагеря беженцев). Изучение и прогнозирование миграционных процессов не может не учитывать все эти явления и трансформации.

Автор рассуждает о справедливости и в контексте различных взглядов на сложившуюся иерархию качества путешествий, в первую очередь авиаперелетов: в зависимости от материального или социального положения пассажиров предусмотрены различные классы, специальные лаунжи, ускоренные пограничные коридоры и различающиеся требования досмотра. Все эти «сглаживающие» опыт путешествий для более обеспеченных пассажиров практики воплощают собой неравенство, и создание справедливой системы требует их безвозвратного демонтажа. Пока же элитная мобильность процветает: люди с определенным уровнем достатка могут позволить себе отправиться куда угодно на частных самолетах, вертолетах и кораблях, а их образ жизни постоянно стимулирует целую серию других процессов — доставку эксклюзивных блюд и товаров, путешествие обслуги и провоз личных вещей.

Отдельного упоминания заслуживает сравнение практик элиты и государства по организации доступа на отдаленные

территории. Первые реализуют такую возможность, чтобы скрыться от посторонних, а государство таким образом продолжает колонизацию, формируя стратегический каркас.

Справедливость в сфере экологии и климата

Эта глава посвящена проблемам экологии, влиянию человеческой деятельности на климат и соответствующим аспектам справедливости и мобильности. Шеллер исходит из позиции, что по отношению к опасности глобального потепления в мире выработался консенсус и идет постепенная работа по его замедлению. Важную часть в этой работе составляет повышение использования возобновляемой энергетики и переосмысление мобильности. Поскольку внедрять меры эффективнее всего на уровне страны, эта работа является глобальной геополитической задачей.

Шеллер предлагает взглянуть на пространство и транспорт в контексте влияния на окружающую среду — материальная культура устроена таким образом, что разработка, создание, эксплуатация любой мобильности требуют постоянного использования ресурсов планеты. Эта культура складывалась не одно десятилетие, ее корни уходят в промышленную революцию XIX века, а историю XX века невозможно представить без ископаемых ресурсов и той географии, которую они сформировали. В этой ситуации стремление к снижению негативных экологических эффектов неизбежно приведет к снижению интенсивности перемещений и сжатию рынка услуг мобильности.

Исследовательница отмечает, что пока идет борьба на уже открытых фронтах (например, с чрезмерной автомобилизацией) — открываются новые. Так, цифровизация экономики и появление криптовалют и устройств для их генерации спровоцировали резкий скачок потребления электроэнергии, а развитие сервисов доставки еды потребовало строительства огромных логистических центров с холодильниками для хранения продуктов.

Основными выходами из сложившейся ситуации могут служить как всеобщее замедление потребления и движения, так и развитие технологий шеринга и расширение систем совместного потребления. Шеллер приводит примеры движений и концепций, стремящихся к установлению справедливости.

В посвященной климату главе возникает и сюжет на военную тему. Согласно одной

из исследовательских позиций, на которую ссылается Шеллер, скорость развития мира идет вровень со скоростью стрельбы автоматического оружия [Virilio, 1977], в войнах будущего возможность более быстрой переброски войск и оружия будет не только решающим фактором, но и главным стимулом. Победители будут вкладываться в дальнейшее повышение скоростей для сохранения своего превосходства. То есть о тотальном замедлении не может быть и речи, если сложившаяся логика военного превосходства не изменится и если стимулы развития систем мобильности не будут демилитаризованы.

Концепция планетарной урбанизации, описанная Нилом Бреннером и Кристианом Шмидом в их работе «Вперед к новой эпистемологии города?» (Towards a new epistemology of the urban?) [Brenner, Schmid, 2015], предлагает методику для контроля над многоуровневой системой зависимости мобильности от милитаризма и ресурсов. Суть ее сводится к тотальной пространственной реорганизации Земли — повышению плотности связей между крупнейшими центрами, воссозданию огромных «диких» природных заповедников, специализации крупных участков на сельском хозяйстве и их расширению, работе с отходами и выработке энергии. При этом однозначного ответа на вопрос о политическом устройстве такого мира нет.

Говоря о климатической справедливости, Шеллер выдвигает следующие тезисы: улучшение мобильности в одном месте не должно вести к ухудшению экологии в другом; большие загрязнители несут большую ответственность; инвестиции должны быть направлены на развитие возобновляемой энергетики; защита всеобщих климатических благ должна стоять выше капиталистических ценностей; все государства должны участвовать в формировании «карбонового бюджета» планеты и стремиться к его снижению.

Кто и как должен сделать мобильность более справедливой

В последние годы концепция «общности» (commons) стала преобладающей во многих общественных движениях и критических теориях. Согласно Джону Монбиоту [Monbiot, 2016; Monbiot, 2017; Sheller, 2013], любая общность представляет собой систему из трех элементов: ресурса, людей и правил использования людьми ресурсов. Теоретической базой для построения данных моделей служит

работа Элино́р Осман [*Blackmar, 2006*], которая доказала способность любой группы людей найти способ договориться о совместном использовании ресурсов.

Возвращаясь к описанным глобальным кризисам, Шеллер утверждает, что важным шагом на пути к созданию системы справедливой мобильности может стать смещение фокуса обсуждения с общего «права на мобильность» на более конкретный вопрос «Как именно мобильность помогает отвечать на коллективные социальные нужды?», предложенный недавно группой исследователей Амстердамского университета под руководством Анны Николаевой [*Nikolaeva et al., 2019*].

Подводя итоги, Шеллер подчеркивает, что от решения вопроса о справедливости системы мобильности зависит как общее будущее, так и бесчисленное количество личных судеб, и что формирование единого сообщества, договорившегося о новых принципах жизни и перемещений, является единственным правильным ответом на этот вопрос. В заключение она приводит 28 принципов, следуя которым можно построить новый лучший мир справедливой мобильности:

- Свобода передвижения любого человека должна быть ограничена правилом взаимности: без подавления, без угроз и без лишения самой возможности передвигаться.
- Мобильность индивида не должна быть ограничена непреднамеренными физическими или символическими угрозами, включая требования к форме одежды, требования к сегрегации средств передвижения или другие временные или пространственные ограничения.
- Пол, сексуальная ориентация и другие маркеры самоидентификации не должны служить основой для ограничения передвижения и пребывания в общественном пространстве.
- Расовые, этнические, религиозные или национальные признаки (относится и к туземным народностям) индивида не должны быть причиной для контроля над всей группой со схожими признаками и не должны служить поводом для ограничения их в передвижениях.
- Универсальный дизайн необходим к внедрению во всех общественных зданиях, сервисах и пространствах (физических и виртуальных) с целью обеспечить равную их доступность для

каждого человека. В первую очередь фокус должен быть направлен на обеспечение доступа к общественному транспорту и медиа.

- Права детей, пожилых людей, беременных женщин и лиц с особенностями физического развития должны быть защищены и учтены на этапах планирования и проектирования.
- Защита задержанных в рамках Хабеас корпус акта должна распространяться на всех людей, независимо от гражданства, а государства не вправе заключать людей под стражу без юридических оснований, правовых процедур и представительства защиты.
- Системы общественного транспорта не должны в произвольном порядке отказывать в предоставлении сервиса или вводить ограничения.
- Города должны гарантировать создание систем общественного транспорта с минимальным порогом доступности, основываясь на данных анализа. Этот процесс должен способствовать постепенному регрессу предпочтений для личных автомобилей.
- Правила проектирования улиц должны гарантировать пространство для каждого, давать возможность передвигаться любым удобным способом и не допускать доминирования одного вида транспорта (например, автомобилей).
- Города должны сфокусироваться на сохранении общественных пространств, поддерживать мультимодальные пространства и пространства совместного использования, не допуская создания инфраструктуры, дающей преимущества одним и недоступной для других.
- Стандарты транзитно-ориентированного проектирования должны включать системы оценки и мониторинга эффектов системы городского транспорта на доступность жилья, безбарьерность среды и социальную инклюзию. В принятие решений должны быть вовлечены местные сообщества.
- Инфраструктура для общественных транспорта, коммуникаций и информационных систем должна открыто финансироваться государством и быть доступной для всех его членов.
- Информационные и коммуникационные технологии, используемые

в штатном режиме и особенно в случае чрезвычайных происшествий, должны быть максимально доступны для всех, кто в них нуждается.

- Должен быть закреплен сетевой нейтралитет, а базы данных должны быть открытыми и доступными. Результаты всех исследований, профинансированных государством, должны быть опубликованы для открытого доступа.
- Личные данные должны быть защищены законодательством, а государства и корпорации не должны иметь возможностей для поиска, использования и передачи этих данных без специального разрешения.
- Зоны офшоров должны подчиняться регулированию, а налоги и отчетность обладателей капиталов должны быть учтены по месту резидентства.
- У каждого человека должно быть право покинуть или вернуться в то место, которое он считает родиной.
- У каждого должно быть право спасаться бегством от войны. Международное сообщество должно также заняться подготовкой к потокам мигрантов ввиду климатических изменений в скором будущем.
- В вопросах пересечения границ должны главенствовать честность и равноправие, а запретительные меры не должны касаться целых групп людей из-за их расы, религии, национальности, этнической принадлежности, сексуальной ориентации, состояния здоровья и социально-экономического статуса.
- Ни один человек не должен подвергаться задержанию и депортации без необходимых юридических оснований и возможности выступить в свою защиту. Создание специальных лагерей для таких людей недопустимо.
- Туризм не должен нарушать частные границы, ограничивать где-либо передвижение или создавать дополнительную нагрузку на места посещения (мусор и т.п.).
- Пострадавшие от климатических изменений люди должны иметь возможность переезда в другие страны, в первую очередь ответственные за климатический кризис.
- Климатическая справедливость должна быть реализована таким обра-

зом, чтобы передвижения в одной географической точке не создавали загрязнения и негативные эффекты в другой без предварительных договоренностей и последующих компенсаций.

- Индустрии и страны, наиболее ответственные за загрязнение окружающей среды, в первую очередь обязаны сфокусироваться на снижении выбросов и компенсации причиненного вреда. Глобальный фонд, собранный из отчислений загрязнителей окружающей среды, должен заниматься координацией решения проблемы в планетарном масштабе.
- Государства должны сместить фокус субсидирования с добывающей энергетики на возобновляемую, параллельно вводя меры глобального стандарта «Инициатива прозрачности добывающих отраслей».
- Защита всеобщих благ, таких как водоносные горизонты, реки, океаны, морские шельфы, горы, атмосфера, Антарктика, Арктика и внепланетные объекты, должна быть приоритетней выгодных торговых путей и частных бизнес-проектов.
- Все государства и транснациональные корпорации должны объединиться для взаимодействия на платформе учета глобального углеродного (и других парниковых газов) бюджета для скорейшей установки контроля над климатическими изменениями.

Источники

- Хобсбаум Э. (2004) Эпоха крайностей: Короткий двадцатый век (1914–1991). М.: Издательство Независимая Газета.
- Blackmar E. (2006) Appropriating the Commons: The Tragedy of Property Rights Discourse//The Politics of Public Space/S. Low, N. Smith (eds.). New York: Routledge. P. 49–80.
- Brenner N., Schmid C. (2015) Towards a Tew Epistemology of the Urban? City. Vol. 19. No. 2–3. P. 151–182.
- Cresswell T. (2011) Mobilities I: Catching up//Progress in Human Geography. Vol. 35. No. 4. P. 550–558.
- de Souza e Silva A., Sheller M. (2014) Mobility and Locative Media: Mobile Communication in Hybrid Spaces. London: Routledge.
- Kotef H. (2015) Movement and the Ordering of Freedom: on Liberal Governances of Mobility. Durham and London: Duke University Press.

- Martens K. (2012) Justice in Transport as Justice in Accessibility: applying Walzer's 'Spheres of Justice' to the Transport Sector//Transportation. Vol. 39. No. 6. P. 1035–1053.
- Martens K. (2016) Transport Justice: Designing Fair Transportation Systems. New York: Routledge.
- Monbiot G. (2016) The Fortifying Commons (December 15, 2016) Режим доступа: <https://www.monbiot.com/2016/12/15/the-fortifying-commons/> (дата обращения: 15.12.2020).
- Monbiot G. (2017) Common Wealth. (October 2, 2017) Режим доступа: <https://www.monbiot.com/2017/10/02/common-wealth/> (дата обращения: 15.12.2020).
- Nikolaeva A., Adey P., Cresswell T., Lee J.Y., Nyvoa A., Temenos C. (2019) Commoning Mobility: Towards a New Politics of Mobility Transitions//Transactions of the Institute of British Geographers. Vol. 44. No. 2. P. 346–360.
- Schwanen E. (2016) Rethinking Resilience as Capacity to Endure: Automobility and the City//City. Vol. 20. No. 1. P. 152–160.
- Sheller M. (2000) Democracy After Slavery: Black Publics and Peasant Radicalism in Haiti and Jamaica. London & Oxford: Macmillan Caribbean.
- Sheller M. (2003) Consuming the Caribbean: from Awakaws to Zombies. London & New York: Routledge.
- Sheller M., Urry J. (eds.). (2006) Mobile Technologies of the City. London and New York: Routledge.
- Sheller M., Urry J. (2006) The New Mobilities Paradigm//Environment and Planning. Vol. 38. No. 2. P. 207–226.
- Sheller M. (2013) The Islanding Effect: Post-Disaster Mobility Systems and Humanitarian Logistics in Haiti//Cultural geographies. Vol. 20. No. 2. P. 185–204.
- Sheller M. (2018) Mobility Justice: The Politics of Movement in an Age of Extremes. Brooklyn, NY: Verso.
- Virilio P. (1977) Speed and Politics. The MIT Press.

ARTEM GERASIMENKO

EQUITABLE MOBILITY PRINCIPLES AS THE KEY RESPONSE TO A GLOBAL CRISIS

BOOK REVIEW: “MOBILITY JUSTICE. THE POLITICS OF MOVEMENT IN AN AGE OF EXTREMES” BY MIMI SHELLER

Artem Gerasimenko, MS in Civil Construction (RUDN University), MA in Urban Studies (The University of Manchester), Founder of the Sports Inclusion and Development Foundation “The Healthy Cities”.

E-mail: artem.gerasimenko@gmail.com

Abstract

This book overviews the political and ethical issues of modern-day mobility and outlines conceptual strategies to make it more equitable. A brief description of the main challenges facing the world today is followed by racial, transport, infrastructural, migrant and climate perspectives of justice, with a separate chapter dedicated to each. Connecting human bodies, streets, cities, nations and environments, the author creates an overarching theory of the modern, continuously shifting, world. Sheller examines the issues in various scales and reveals fundamental unsolved conflicts between, for instance, the freedom of movement and states' migration policies. To conclude, Sheller offers a list of 28 principles which could be used to bring justice to mobility. Despite the fact that the principles have a simple and clear form, their disruptive character demands the reinvention of dozens of established practices such as international tourism and offshore finance. The reader should be aware, that the book was published in 2018, so it includes concepts that have been seriously affected by regulations and policies connected to the Covid-19 pandemic.

Keywords: mobility justice; political and ethical issues; urbanization crisis; climate crisis; politics of movement

Citation: Gerasimenko A. (2019) Book Review: “Mobility Justice. The Politics of Movement in an Age of Extremes” By Mimi Sheller. *Urban Studies and Practices*, vol. 4, no 4, pp. 126–138. (in Russian) DOI: <https://doi.org/10.17323/usp442019126-138>

References

- Blackmar E. (2006) Appropriating the Commons: The Tragedy of Property Rights Discourse. Low S., Smith N. (eds.) *The Politics of Public Space*. New York: Routledge, pp. 49–80.
- Brenner N., Schmid C. (2015) Towards a new epistemology of the urban? *City*, vol. 19, no. 2–3, pp. 151–182.
- Cresswell T. (2011) Mobilities I: Catching up. *Progress in Human Geography*, vol. 35, no 4, pp. 550–558.
- de Souza e Silva A., Sheller M. (2014) *Mobility and Locative Media: Mobile Communication in Hybrid Spaces*. London: Routledge.
- Hobsbawm E. (1994) *The Age of Extremes: A History of the World, 1914–1991*. New York: Vintage books.
- Kotef H. (2015) *Movement and the Ordering of Freedom: On Liberal Governances of Mobility*. Durham and London: Duke University Press.
- Martens K. (2012) Justice in Transport as Justice in Accessibility: Applying Walzer's 'Spheres of Justice' to the Transport Sector. *Transportation*, vol. 39, no 6, pp. 1035–1053.
- Martens K. (2016) *Transport Justice: Designing Fair Transportation Systems*. New York: Routledge.
- Monbiot G. (2016) The Fortifying Commons (December 15, 2016) Available at: <https://www.monbiot.com/2016/12/15/the-fortifying-commons/> (accessed 15 December 2020).
- Monbiot G. (2017) Common Wealth. (October 2, 2017) Available at: <https://www.monbiot.com/2017/10/02/common-wealth/> (accessed 15 December 2020).
- Nikolaeva A., Adey P., Cresswell T., Lee J.Y., Nyvoa A., Temenos C. (2019) Commoning Mobility: Towards a New Politics of Mobility Transitions. *Transactions of the Institute of British Geographers*, vol. 44, no 2, pp. 346–360.
- Schwanen E. (2016) Rethinking Resilience as Capacity to Endure: Automobility and the City. *City*, vol. 20, no 1, pp. 152–160.

- Sheller M. (2000) *Democracy After Slavery: Black Publics and Peasant Radicalism in Haiti and Jamaica*. London & Oxford: Macmillan Caribbean.
- Sheller M. (2003) *Consuming the Caribbean: From Arawaks to Zombies*. London & New York: Routledge.
- Sheller M., Urry J. (eds.) (2006) *Mobile Technologies of the City*. London & New York: Routledge.
- Sheller M., Urry J. (2006) The New Mobilities Paradigm. *Environment and Planning*, vol. 38, no 2, pp. 207–226.
- Sheller M. (2013) The Islanding Effect: Post-disaster Mobility Systems and Humanitarian Logistics in Haiti. *Cultural Geographies*, vol. 20, no 2, pp.185–204.
- Sheller M. (2018) *Mobility Justice: The Politics of Movement in an Age of Extremes*. Brooklyn, NY: Verso.
- Virilio P. (1977) *Speed and Politics*. The MIT Press.

Формат 60×90 1/8. Уч.-изд. л. 10
Тираж 300 экз. Заказ №

Отпечатано в филиал «Чеховский печатный
двор» ОАО «Первая образцовая типография»,
142300, Московская обл., г. Чехов,
ул. Полиграфистов, 1

ФАКУЛЬТЕТ ГОРОДСКОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ НИУ ВШЭ.
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ



ФАКУЛЬТЕТ ГОРОДСКОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Бакалавриат:
Городское планирование

Форма обучения: очная

Срок обучения: 5 лет (набор ведется как на бюджетные, так и на коммерческие места)

Направление подготовки: «Градостроительство» (диплом государственного образца)

Вступительные испытания: по результатам ЕГЭ: русский язык, математика, иностранный язык

Образовательная программа бакалавриата «Городское планирование» направлена на подготовку новых профессионалов — городских планировщиков.

В процессе обучения студенты получают практические и прикладные навыки территориального планирования, управления городскими проектами, разработки и реализации стратегий и программ развития городов. Выпускники программы смогут работать в администрациях городов, девелоперских и консалтинговых компаниях, а также в исследовательских центрах.



ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ГОРОДСКОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Магистерская программа: Управление пространственным развитием городов

Форма обучения: очная

Срок обучения: 2 года (набор ведется как на бюджетные, так и на коммерческие места)

Направление подготовки: «Градостроительство» (диплом государственного образца)

Вступительные испытания: конкурс портфолио + английский язык

Одна из первых в России магистерских программ, объединяющая научно-исследовательский подход в урбанистике (urban studies) и практические аспекты городского планирования и управления (urban planning).

Мы готовим специалистов в области пространственного развития городов и градостроительного зонирования. Наши выпускники работают в системе государственного и муниципального управления, в области анализа городских данных, в сфере девелопмента, градостроительного консалтинга и инфраструктурного развития.



ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ГОРОДСКОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Магистерская программа: Транспортное планирование

Форма обучения: очная

Срок обучения: 2 года (набор ведется как на бюджетные, так и на коммерческие места)

Направление подготовки: «Градостроительство» (диплом государственного образца)

Вступительные испытания: конкурс портфолио + английский язык

Программа направлена на развитие навыков и компетенций в сфере устойчивой мобильности, планирования и организации работы общественного транспорта, организации и безопасности дорожного движения, проектирования пешеходной и велосипедной инфраструктуры, экономики и правового регулирования городского транспорта.

Большое внимание уделяется значимости транспортного планирования для всех сфер городского развития и новейшим трендам в этой области.



ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ГОРОДСКОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Магистерская программа: Прототипирование городов будущего

Форма обучения: очная, **обучение ведется на английском языке**

Срок обучения: 2 года (набор ведется на коммерческие места)

Направление подготовки: «Градостроительство» (диплом государственного образца)

Вступительные испытания: конкурс портфолио

В основе программы лежит проектный подход, основанный на принципе learning by doing («обучение в процессе работы»). Студенты научатся разрабатывать прототипы проектов, анализировать данные, интегрировать технологии в городскую среду, которые изменят текущую реальность.

Программа реализуется на базе «Шухов Лаб» — международной лаборатории экспериментального проектирования городов НИУ ВШЭ. Преподавание ведут российские и зарубежные исследователи и практики, формирующие современную повестку в области разработки и внедрения умных технологий для городского развития.



ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ