

Метод сравнительной оценки транспортной связности городской агломерации и способы ее повышения в контексте целей устойчивого развития

Григорий Игоревич Букреев

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия,
bukreev.grigory@yandex.ru

Аннотация

Цель. Проведение сравнительной оценки пропускной способности мостовых и тоннельных переправ через Неву в Санкт-Петербурге и через Темзу в Лондоне, а также представление на основе ее результатов предложений по улучшению транспортной связности в крупных городах.

Задачи. Определение параметров мостовых и тоннельных переправ (количества, длины, количества полос для движения, светофорного регулирования, скоростного режима и др.); расчет пропускной способности мостовых и тоннельных переправ для общественного и личного транспорта; сопоставление полученных результатов; представление конкретных предложений и выводов.

Методология. Использован метод моделирования каналов и ограничений взаимодействия между блоками (подграфами, кустами, регионами и др.), разделенными некой преградой, в данном случае — рекой. Проведено сравнение характеристик таких каналов, а именно — пропускной способности мостов и тоннелей. Пропускная способность для автотранспорта рассчитана согласно СП 396.1325800.2018 «Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования», для общественного транспорта — перемножением количества рейсов на пассажироместимость транспортных средств. Стоимость строительства пешеходных мостов рассчитана согласно нормативам, указанным в приказе Минстроя РФ № 113, с применением повышающего коэффициента.

Результаты. Расчеты показали, что суммарная пропускная способность мостов через Неву в Санкт-Петербурге превышает аналогичный показатель для Лондона. Вместе с тем разница в численности населения и статусе города говорит о том, что нагрузка на транспортную инфраструктуру Лондона должна быть выше. Приведено три возможных объяснения этого вывода, одним из которых является наличие в Лондоне альтернативной инфраструктуры для обеспечения транспортной связности между берегами Темзы, в частности пешеходных мостов. Предложено четыре площадки для строительства таких мостов в Санкт-Петербурге. Проведенные расчеты указывают на то, что социально-экономический эффект позволит окупить затраты на создание мостов в течение 50 лет, если в сутки на каждый мост будет приходиться 17.5 тыс. пересечений. Кроме того, предложена новая формулировка определения транспортной связности.

Выводы. Существующая мостовая инфраструктура Санкт-Петербурга превышает Лондонскую по пропускной способности для легковых автомобилей. В то же время Лондонская транспортная система обслуживает гораздо более крупную агломерацию, и поэтому представляется автору статьи более эффективной. Причинами этого автор видит распространение выделенных полос для общественного транспорта в Лондоне, недостаточное использование потенциала трамвая в Санкт-Петербурге и распространение в Лондоне альтернативных способов пересечения Темзы. Из таких альтернатив для Санкт-Петербурга наилучшей представляется строительство велопешеходных мостов. Представлено дополнительно восемь выводов, замечаний и рекомендаций относительно организации дорожного движения и общественного транспорта.

Ключевые слова: транспортная связность, общественный транспорт, Лондон, Санкт-Петербург, трамвай, велодорожки, цели устойчивого развития

Для цитирования: Букреев Г. И. Метод сравнительной оценки транспортной связности городской агломерации и способы ее повышения в контексте целей устойчивого развития // *Экономика и управление*. 2023. Т. 29. № 11. С. 1382–1393. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2023-11-1382-1393>

Method of comparative assessment of urban agglomeration transportation connectivity and ways to improve it in the context of sustainable development goals

Grigoriy I. Bukreev

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, bukreev.grigory@yandex.ru

Abstract

Aim. To conduct a comparative assessment of the capacity of bridge and tunnel crossings across the Neva River in St. Petersburg and across the Thames in London, and to present proposals for improving transport connectivity in large cities on the basis of its results.

Objectives. To determine the parameters of bridge and tunnel crossings (number, length, number of traffic lanes, traffic light regulation, speed limits, etc.); to calculate the capacity of bridge and tunnel crossings for public and private transport; to compare the results obtained; to present specific proposals and conclusions.

Methods. The method of modeling channels and interaction constraints between blocks (sub-graphs, clusters, regions, etc.) separated by some obstacle, in this case — a river, is used. The characteristics of such channels are compared, in this case — the capacity of bridges and tunnels. Throughput capacity for motor transport is calculated according to SP 396.1325800.2018 “Streets and roads of settlements. Rules of urban planning design”, for public transport — by multiplying the number of trips by the passenger capacity of vehicles. The cost of construction of pedestrian bridges is calculated according to the standards specified in the order of the Ministry of Construction of the Russian Federation № 113, with the application of an increasing coefficient.

Results. Calculations have shown that the total capacity of bridges over the Neva River in St. Petersburg exceeds the same indicator for London. At the same time, the difference in population and status of the city suggests that the load on London’s transportation infrastructure should be higher. Three possible explanations for this finding are given, one of which is the availability of alternative infrastructure in London to provide transportation connectivity between the banks of the Thames, in particular pedestrian bridges. Four sites for the construction of such bridges in St. Petersburg are suggested. The calculations indicate that the socio-economic effect will allow to recoup the cost of creating the bridges within 50 years, if each bridge will have 17.5 thousand crossings per day. In addition, a new formulation of the definition of transportation connectivity is proposed.

Conclusions. The existing bridge infrastructure of St. Petersburg exceeds the London bridge infrastructure in terms of capacity for passenger cars. At the same time, the London transport system serves a much larger agglomeration and therefore seems more efficient to the author of the article. The author sees the reasons for this as the spread of dedicated lanes for public transport in London, insufficient use of the potential of the streetcar in St. Petersburg and the spread of alternative ways of crossing the Thames in London. Of these alternatives, the construction of bicycle-pedestrian bridges seems to be the best for St. Petersburg. Eight additional conclusions, observations and recommendations regarding traffic management and public transport are presented.

Keywords: transport connectivity, public transport, London, St. Petersburg, tram, cycleways, Sustainable Development Goals

For citation: Bukreev G.I. Method of comparative assessment of urban agglomeration transportation connectivity and ways to improve it in the context of sustainable development goals. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2023;29(11):1382-1393. (In Russ.). <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2023-11-1382-1393>

В условиях высокой интенсивности социально-экономической и культурной деятельности, свойственной высокоурбанизированной экономике, вопросы городской мобильности находятся в фокусе внимания множества исследователей. О необходимости развития инфраструктуры и транспортных систем речь идет во многих нормативных документах и стратегиях развития [1, с. 167]. Одним из показателей, характеризующих мобильность и транспортные системы, служит связность. В России с учетом пространственной протяженности ее территории органы государственного управления и наука рассматривают проблемы транспортной связности в первую очередь на межрегиональном уровне, в частности в Сибири, на Дальнем Востоке и Крайнем Севере. На этих территориях сложные географические и климатические условия в сочетании с большими расстояниями делают исследуемую задачу особенно сложной. Вместе с тем транспортной связности в городских агломерациях, по нашему мнению, уделено меньше внимания.

Транспортная связность может быть рассмотрена в рамках цели устойчивого развития Организации Объединенных Наций (ООН) № 11 «Устойчивые города и сообщества», в частности в контексте задачи № 11.2, посвященной увеличению безопасности, доступности, экологической устойчивости и экономической эффективности транспортных систем. Другой аспект транспортной связности относится к снижению экологических издержек, связанных с сокращением затрат времени на объезд. Поэтому он может быть отнесен к цели устойчивого развития ООН № 13 «Борьба с изменением климата». Кроме того, увеличение транспортной связности позволяет приблизить достижение целей устойчивого развития № 3 «Хорошее здоровье и благополучие» (п. 3.6 о снижении ущерба здоровью от ДТП) и № 9 «Индустриализация, инновации и инфраструктура» (п. 9.1 о качественной, надежной, устойчивой и стойкой инфраструктуре для поддержки экономического развития и здоровья людей, а также п. 9.4 о выбросах CO₂ на единицу добавленной стоимости).

В научной литературе предложено множество показателей, характеризующих связность. Однако эти показатели применимы в первую очередь для уровней региона [2, с. 92] или района [3, с. 41, 51], а также для

информационных систем [4, с. 21]. Важен и тот факт, на который обращают внимание, в частности, Н. В. Ворошилов и Е. С. Губанова [5, с. 60], что некоторые предлагаемые способы измерения связности «отличаются сложностью расчетов, использованием чрезмерно большого количества показателей, часть из которых отсутствует в официальной статистике». Отдельные регионы или отдельные федеральные ведомства могут взять на себя такую работу, в том числе если для обработки больших данных применить мощности искусственного интеллекта. Но большинство субъектов, тем более муниципалитетов, уже испытывают недостаток средств для финансирования мобильности, в частности ее инфраструктурной составляющей.

Рассмотренные определения транспортной связности [4, с. 21; 6, с. 56, 57] не обеспечивают раскрытие проблемы в полном объеме. На похожую проблему обращал внимание Н. Г. Колесников [7, с. 102], утверждая, что показатель транспортной связности должен отражать не только «взаимную транспортную доступность», но и оптимальность, в частности относительно временных издержек. В связи с этим возникла необходимость выведения новой формулировки. Е. А. Коломак выделяет [6, с. 58] два подхода к исследованию пространственной связности: 1) моделирование каналов и ограничений взаимодействия между блоками (подграфами, кустами, регионами и т. д.); 2) построение эконометрических моделей исследуемых связей с учетом пространственных внешних эффектов.

Отталкиваясь от первого подхода, необходимо отметить, что при отсутствии физических, географических, инфраструктурных барьеров (например, в открытом море, воздушном пространстве или ровной степи) транспортная связность будет зависеть только от наличия и достаточности подвижного состава на конкретном маршруте (для личного транспорта подразумевается, что подвижной состав доступен в любое время). Теоретически транспортные системы являются достаточно гибкими, чтобы улавливать спрос и удовлетворять его посредством оптимизации маршрутной сети. Исходя из этого, а также из сложности определения количества подвижного состава на каждом маршруте в определенный момент времени, вопрос о достаточности выпуска транспорта на линию и оптимальности маршрутной

сети в настоящей статье не рассмотрен подробно и не введен в предлагаемое определение транспортной связности.

Как правило, проблема транспортной связности возникает из-за наличия некоей преграды. Преодоление последней посредством строительства инженерных сооружений видится высокочрезвычайно затратным, а значит, количество мест для такого преодоления ограничено. Это, в свою очередь, приводит к концентрации в таких местах транспортных потоков, зачастую превышающих пропускную способность инженерных сооружений. На уровне страны в качестве преград могут выступать водные объекты, горные хребты или даже расстояния сами по себе. В условиях городских агломераций ситуация изменяется: большинство городов России не сталкиваются с необходимостью преодоления высоких гор и дальних расстояний. Возможные преграды можно дополнить рукотворными объектами, в том числе историческими зданиями, промышленными предприятиями, а также растянутыми в пространстве железнодорожными линиями, как вылетными, так и транзитными. Итак, по нашему мнению, проблема транспортной связности возникает лишь в случае, если существует некая преграда, ограничивающая прямолинейность сообщения и имеющая ограниченное количество мест ее преодоления, которые можно назвать узкими местами транспортной системы.

Прямолинейность сообщения — соотношение протяженности транспортного маршрута между двумя точками (объектами) и расстоянием между ними по прямой. Абсолютная прямолинейность сообщения редко достижима на практике, недостаточная прямолинейность ведет к росту издержек. Узкое место — компонент транспортной линии, пропускная способность которого ограничивает пропускную способность системы в целом. Превышение пропускной способности вызывает заторы, как правило, автодорожные, которые наносят вред экономике и окружающей среде.

Если транспортная коммуникация, обеспечивающая связность транспортной системы как графа, является прямолинейной и имеет достаточную пропускную способность, это приводит к снижению финансовых, временных и экологических издержек от объезда преграды и простоя в дорожных заторах, что в итоге и можно назвать целью повышения транспортной связности. Сни-

жение подобных издержек делает транспорт более экологически эффективным и удобным для горожан, тем самым приближая его к достижениям целей устойчивого развития ООН № 11 и № 13.

Таким образом, транспортная связность — наличие и достаточность (оптимальность) транспортных коммуникаций, связывающих два подграфа (куста, региона, фрагмента, участка и т. д.) транспортной системы, разделенных той или иной преградой, включая расстояние само по себе. Из этого определения следует, что две транспортных системы (или два сегмента транспортной системы) можно сравнивать между собой, исходя из характеристик транспортных коммуникаций, позволяющих преодолеть некую преграду. В настоящем исследовании предпринята попытка такого сравнения.

В качестве изучаемой преграды выбраны реки, поскольку многие крупные города России стоят на берегах широких и полноводных рек, строительство переправ через которые представляется более сложным, чем создание пересечений с железнодорожными магистралями (особенно, если речь идет о строительстве тоннелей). В качестве объекта исследования выбраны мосты Санкт-Петербурга. Для сравнения выбран город Лондон в границах региона Большой Лондон, так как другие сопоставимые города не расположены на берегах крупных рек (Анкара, Милан), значительно отличаются по характеру размещения населения (города США, имеющие гораздо большую площадь и меньшую плотность населения) или не представлены в сервисах street view, обеспечивающих доступ к панорамным фотографиям улиц (города Китая).

Параметры инфраструктуры для Лондона и Санкт-Петербурга приведены в таблице 1.

В исследовании использованы следующие допущения:

1) нами не учитывалось снижение пропускной способности транспортных магистралей из-за погодных условий, ширины проезжей части, ширины обочины, характера разметки, однородности потока, уклона, видимости, а также канализованности отдельных пересечений (правый поворот с Кировского моста на Петровскую набережную или прямой тоннель с моста Ватерлоо на Кингсуэй). Транспортные развязки, к которым примыкает Ротерхайтский тоннель, учтены как полностью канализованные;

Некоторые показатели переправ через реки в рассматриваемых городах

Table 1. Some indicators of river crossings in the cities under consideration

Показатели	Санкт-Петербург	Лондон
Количество автомобильных мостов	9	19
Количество автомобильных тоннелей	–	2
Средняя длина автомобильного моста, м	535	232.2 (346 с учетом тоннелей)
Среднее расстояние между мостами, км	2.9	1.74 с учетом тоннелей
Максимальное расстояние между мостами, км	6.22	5.13
Минимальное расстояние между мостами, км	1.26	0.43
Количество полос для движения в одну сторону	30–31	28–29
В среднем количество полос для движения в одну сторону на одну переправу	3	1.3–1.4
Количество выделенных полос	2 (трамвайные)	5–7
Количество трамвайных линий в работе	3	–
Количество ж/д мостов (за исключением линий метро)	1	8
Количество ж/д путей	2	33
Количество пересечений реки линиями метрополитена	5	12
Максимальное расстояние между линиями метро	Более 5 км	Более 6.5 км
Количество паромных переправ	–	3
Количество канатных дорог	–	1

Источник: street-view сервисы «Яндекс.Карты» и «Google Maps»; расчеты автора.

2) пропускная способность дорог рассчитана согласно п. 5.5.12 СП 396.1325800.2018 «Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования». Указанная методика расчета составлена с допущением относительно того, что пропускная способность одной полосы по мере появления дополнительных полос снижается из-за увеличения количества перестроений в потоке. Существует альтернативная точка зрения, что пропускная способность одной полосы по мере появления дополнительных полос, напротив, увеличивается из-за возможности эффективного самостоятельного разделения потоков по скорости. Такое мнение в частности содержится в Методических рекомендациях по оценке пропускной способности автомобильных дорог Министерства Транспорта (п. 5.1.16);

3) лондонские паромные переправы, пешеходные мосты, канатная дорога, а также участок линии Jubilee между станциями Canary Wharf и Canning Town со станцией North Greenwich при расчете пропускной способности не учитывались;

4) Восточно-Лондонская линия «надземки», Елизаветинская линия и Доклендское легкое метро при расчетах включены в состав метрополитена. Западно-Лондонская линия «надземки» рассчитана как пригородная железная дорога;

5) провозная способность линий пригородных электропоездов рассчитана, исходя из их четырехвагонной составности и вместимости одного вагона, равной 145 пассажирам [8]. Фактически электропоезда, обслуживающие Лондонскую агломерацию, могут иметь от двух до двенадцати вагонов в составе, а также эксплуатироваться по системе многих единиц, то есть парами. Таким образом, рассчитанная пропускная способность пригородных железных дорог минимальна. Экспрессы в аэропорты и поезда, не считающиеся пригородными, в расчетах не учтены;

6) вместимость лондонского автобуса принята равной 132 пассажирам. Двухэтажные автобусы между собой значительно различаются по техническим характеристикам; даже у автобусов одной модели длина может варьироваться на два метра. В свою очередь, дополнительная «площадка» может быть оборудована сидячими местами или предоставлять пространство для проезда стоя. Это приводит к неопределенности и отсутствию однозначных данных;

7) Большеохтинский мост из-за наличия полосы с реверсивным движением рассчитан как шестиполосный, то есть реверсивная полоса учтена как одна дополнительная в каждом направлении.

Пропускная способность мостов через Большую Невку значительно превосходит

Суммарная пропускная способность рассматриваемых транспортных коммуникаций

Table 2. Total capacity of the considered transportation links

Пропускная способность в одну сторону	Литерное обозначение	Санкт-Петербург (в направлении на правый берег)	Лондон (в направлении на левый берег)
Мостов и тоннелей, легковых авт./ч	x	37 346	24 655
Трамвайных линий и выделенных полос, пассажиров в час (интервал три минуты)	b_1	18 300	18 480
Линий метрополитена, пассажиров в час (с учетом составности и типа вагонов)	b_2	305 400	270 978
Линий пригородных поездов, пассажиров в час	b_3	Сообщения нет	48 720

Источник: street-view сервисы «Яндекс.Карты» и «Google Maps»; сервис поиска расписаний железных дорог [9]; расчеты автора.

пропускную способность мостов через русло Невы, что позволяет исключить мосты через этот рукав из настоящего исследования. Результаты расчетов пропускной способности мостов через Неву в Санкт-Петербурге и через Темзу в Лондоне приведены в таблице 2.

Результаты исследований могут быть отражены в виде линейной функции

$$y = kx + b_1 + b_2 + b_3,$$

где k — средняя наполняемость одной машины; при k больше ≈ 1.14 пропускная способность мостов Санкт-Петербурга будет больше, чем мостов Лондона (средняя наполняемость автомобилей в России составляет 1.2 человек на один легковой автомобиль [10]). При этом угловой коэффициент линейной функции для Лондона будет меньше, поскольку составляющая общественного транспорта в пропускной способности Лондонской системы несколько больше.

По данным переписи населения, которая и в России, и в Великобритании состоялась в 2021 г., в Санкт-Петербурге проживают 5 601 911 человек, в Лондоне — 8 799 728, то есть на 36 % больше [11]. Дополнительно необходимо учитывать, что Лондон, в отличие от Санкт-Петербурга, — более крупный туристический центр, столица государства и центр Британского Содружества. Из этого следует, что нагрузка на транспортную инфраструктуру Лондона должна быть выше, а ее пропускная способность оказывается ниже по сравнению с менее населенным городом на Неве.

Каким образом можно объяснить данный факт? Во-первых, это вызвано допущениями, связанными с однородностью потоков автомобилей на переправах. Поскольку в обоих городах предусмотрено ограничение движения грузовых автомобилей, наиболее важным представляется сравнить

возможности общественного транспорта. В Санкт-Петербурге по мостам проходят 38 автобусных маршрутов (за исключением междугородних) и 14 — троллейбусных. Всего насчитывается 52 маршрута. В Лондоне по мостам проходит 81 маршрут автобусов (без учета экспрессов, ночных и нерегулярных, а также без учета пяти маршрутов, измененных на время ремонта Хаммермитского моста). Это примерно также на 36 % больше, что и население Лондона по отношению к населению Санкт-Петербурга. По мосту Ватерлоо, не имеющему выделенных полос, проходят 15 постоянных автобусных маршрутов. По восьми мостам, имеющим выделенные полосы хотя бы в одном направлении, проходит 41 автобусный маршрут.

В Санкт-Петербурге в начале 2023 г. на мостах через Неву не было выделенных полос для автобусов и троллейбусов. Организация таких полос представляется более целесообразной, если учитывать, что троллейбусам на разводных мостах приходится снижать скорость до 5 км/ч для проезда спецчасти контактной сети, что негативно сказывается на динамике потока. Однако наиболее загруженные Володарский мост и мост Александра Невского уже имеют выделенные трамвайные линии, а также выходят, особенно на левом берегу, к сложным развязкам, что затрудняет организацию выделенных полос. Большеохтинский мост — самый «узкий» мост через Неву. На Дворцовом мосту выделенная полоса не будет иметь смысла, поскольку с нее будет затруднительным поворот на Университетскую набережную. По оставшимся мостам не проходят в должном количестве автобусные маршруты. С учетом всех факторов для первого этапа наиболее разумной представляется организация выделенной полосы

только по одной стороне Володарского моста по направлению с левого берега на правый и далее, по Народной улице, как минимум до пересечения с Дальневосточным проспектом.

Во-вторых, трамвайные линии, переброшенные через Неву, не используют на полную мощность. Линия по Кировскому мосту обеспечивает пропускную способность не 6 100 чел./час, как это возможно технически и как рассматривалось в исследовании, а около 800–900 чел./час, к тому же указанное значение достигается только в утренние «часы пик». По мосту проходит лишь один трамвайный маршрут. Трамвайные линии, пересекающие Неву по мосту Александра Невского и Володарскому мосту, далее следуют вдоль левого берега реки (то есть половина площади их охвата не генерирует пассажиропоток), не обеспечивая связности Невского района ни с одним из его западных «соседей». Троллейбусная система города представляется более связной. Для систем трамвая и троллейбуса, в разной степени жестко привязанных к инфраструктуре, связность имеет особое значение, поскольку невозможность сквозного проезда из одной части города в другую с использованием этих видов транспорта способствует оттоку пассажиров на другие виды транспорта, в первую очередь на метрополитен [12, с. 126].

Постоянные издержки метрополитена, особенно в Санкт-Петербурге с его сложными геологическими условиями, значительны. Поэтому городу выгодно обеспечивать высокую загрузку этого вида транспорта (кроме того, в начале 2023 г. стоимость проезда на метрополитене в Санкт-Петербурге по транспортной карте составляет 49 руб., на наземном транспорте — 44 руб.). Однако метрополитен имеет свои недостатки, в частности необходимость пеших пересадок между станциями, как правило, более длительных, чем пересадки на наземном транспорте. В связи с этим невозможность сквозного проезда из района в район, например на трамвае, может привести также к оттоку пассажиров на личные автомобили [12, с. 126], что увеличит и без того нарастающую нагрузку на улично-дорожную сеть.

Напротив, опрос, проведенный Е. Д. Старшовым и Е. В. Соколовой в ноябре 2020 г., говорит о том, что введение прямых [12, с. 131] беспересадочных [12, с. 128] марш-

рутов при условии оптимального времени в пути служит наиболее востребованным для автомобилистов стимулом использовать трамвайный транспорт. Таким образом, повышение интенсивности использования существующих трамвайных путей, в том числе путем строительства новых линий или восстановления ранее снятых, представляется перспективным вариантом влияния на ситуацию, связанную с дорожными заторами в Санкт-Петербурге; напротив, недостаточная интенсивность их использования — одна из причин пробок в городе.

Трамвай имеет наибольшую провозную способность среди всех видов уличного транспорта: если на 150 м дороги можно разместить только 24 автомобиля со 120 местами, то на отрезке трамвайного пути такой же длины — около тысячи пассажиров. При этом, как указано ранее, средняя наполняемость автомобилей в России принимается равной 1.2 человек на один легковой автомобиль [10]. Таким образом, развитие трамвайного движения можно считать действенным способом увеличения пропускной способности транспортных магистралей, если измерять ее в пассажирах, а не в автомобилях. Это утверждение видится справедливым не только для мостов, но и для других участков дорог, на которых строительство дополнительных полос по тем или иным соображениям недопустимо.

В отличие от Лондона, который может полагаться только на автобусные маршруты, Санкт-Петербург имеет разветвленные сети трамвая и троллейбуса. С учетом стопроцентной газификации Санкт-Петербургских тепловых электростанций, доступности атомной энергии, вырабатываемой Ленинградской атомной электростанцией, и близости гидроэнергетических ресурсов Северо-Западного федерального округа, можно утверждать, что развитие наземного электротранспорта в Санкт-Петербурге, в том числе в сторону повышения связности сети, отвечает всем требованиям устойчивого развития по сокращению экологических экстерналий транспортной системы.

Существует и третья причина, по которой Лондонская транспортная система, сопоставимая по техническим параметрам с Санкт-Петербургской, справляется с задачей по обслуживанию более крупной городской агломерации. Как указано выше в статье, в расчет пропускной способности нами не взяты паромные переправы, троту-

ары, велосипедные дорожки и пешеходные мосты. Тем не менее существование таких переправ позволяет снижать нагрузку на отдельные перегруженные инфраструктурные объекты, создавать связность для пассажирских коммуникаций в местах, отдаленных от полноценных мостовых переходов. Такие конструкции дешевле в строительстве, чем автодорожные и железнодорожные мосты. Кроме того, они представляют собой ценность как объекты рекреации. В связи с этим видится целесообразным для повышения связности рассмотреть возможности дополнения пешеходных, велосипедных, водных или канатных коммуникаций.

Только одна из трех паромных переправ Лондона предполагает перевозку автомобилей; функция этой переправы, работающей бесплатно с 1889 г., в XXI веке состоит в разгрузке тоннеля Блэкуолл, в первую очередь от грузового движения. Ввиду этого можно заключить, что в Санкт-Петербурге, особенно в контексте имеющихся ограничений на движение грузового транспорта в городе, паромные переправы для автомобилей не будут рентабельны и будут уместны только как акт поддержки городской судостроительной промышленности.

Вопросы об организации и развитии пассажирских перевозок по рекам и каналам Санкт-Петербурга возникают со времен Петра I. Данной теме посвящено множество других исследований, поэтому нет необходимости дополнительно затрагивать их в настоящей статье.

Проблема организации канатных дорог над Невой состоит в необходимости обеспечения судоходства, для чего минимальная высота прохождения кабин должна составлять около 30–35 м, то есть опоры должны быть еще выше. В случае, если эти инженерные задачи будут решены, наиболее подходящим местом для размещения канатной дороги через Неву представляется район станции метро Пролетарская. Опыт эксплуатации Лондонской канатной дороги показывает важность применения отдельных тарифов для маятниковых и для разовых рекреационных поездок.

Более перспективными представляются сравнительно дешевые в строительстве и не требующие значительных затрат на эксплуатацию велопешеходные мосты. Вопрос об их строительстве становится еще актуальнее с учетом тенденции к массовому распространению средств индивидуальной

мобильности. В 2020 г. 22 % опрошенных петербуржцев считали такой транспорт «предпочтительным». Кроме того, 5 % предпочитали передвигаться пешком [12, с. 126]. В настоящее время мосты через Неву можно назвать некомфортными для пешеходов; они открыты ветрам с реки, а также шуму и брызгам с проезжей части. К тому же, как указано в таблице 1, среднее расстояние между мостами составляет 2.9 км, то есть возможны ситуации, в которых гипотетическому велосипедисту придется проследовать 1.4 км вдоль Невы до моста, пересечь Неву и затем двигаться еще 1.4 км вдоль Невы в обратном направлении. Мост Александра Невского и Володарский мост отстоят друг от друга на 6.2 км по прямой, что делает возможный крюк еще более значительным и более вероятным.

Для повышения транспортной связности предлагаем построить следующие велопешеходные мосты: «Синопский» в виде продолжения улицы Бакунина и Перевозного переулка, длиной около 600 м; «Архангельский» в створе улиц Крупской и Крыленко, около 400 м в длину; «Пролетарский» в виде продолжения проспекта Большевиков в сторону парковочной площадки в створе Бертовского переулка, около 500 м в длину; «Новосаратовский» в створе Прибрежной улицы, примерно 450 м в длину. В случае постройки указанных велопешеходных мостов участок от Большеохтинского моста до моста Александра Невского будет разделен мостом на участки длиной приблизительно 1.3 и 0.6 км; участок от моста Александра Невского до Володарского моста будет разделен на участки длиной приблизительно 4.5 и 3 км; участок от Володарского моста до Большого Обуховского моста будет разделен на равные участки длиной приблизительно по 1.7 км; станции метро Елизаровская, Пролетарская и Рыбацкое, вестибюли которых расположены, соответственно, в 750, 300 и 1 200 м от берега Невы, смогут увеличить свой охват за счет пассажиров с территорий, расположенных на другом берегу. В настоящее время эти территории обслуживают так называемые подвозящие маршруты преимущественно автобусного транспорта, обеспечивающие связь со станциями метро Ломоносовская и Улица Дыбенко.

При установлении ширины моста 8.5 м (по два метра пешеходные полосы в каждую

сторону и по два метра велодорожки в каждую сторону) стоимость обычной переправы по нормативам, указанным в приказе Минстроя РФ № 113, составила бы 2.9–3.4 млн руб. за метр [13]. С учетом сложности условий Санкт-Петербурга, реки Невы, а также необходимости развода мостов предлагаем применить к этой стоимости тройной повышающий коэффициент. Таким образом, стоимость строительства метра составит 8.5 млн руб. минимум и 10.5 млн руб. максимум; общая стоимость четырех мостов составит от 16.6 до 20.5 млрд руб. (1.6–2 % бюджета города, который, однако, является дефицитным). Мосты предлагаем не остеклять полностью, чтобы сохранить ощущение нахождения на улице и не создавать ассоциацию с наземным пешеходным переходом. Кроме того, согласно нормативам, отраженным в приказе Минстроя РФ № 113, стоимость остекления может составлять до одной четверти стоимости моста [13].

Для расчета социально-экономического и экологического эффекта от постройки мостов предложена следующая формула:

$$E = (V \times (1/N) \times t_c \times 0.5 \times 0.33) + (S/v \times (3\Pi_{cp}/160)), \quad (1)$$

где E — социально-экономический и экологический эффект от одного пересечения моста, руб.;

V — объем выбросов загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от передвижных источников, т; в Санкт Петербурге в 2020 г. составляет 132 100 т;

N — население; ранее указано, что в Санкт-Петербурге, согласно переписи 2021 г., проживают 5 601 911 человек;

t_c — стоимость выбросов тонны загрязняющих атмосферу веществ; принималась как 127 руб. с учетом опыта Республики Казахстан [14];

0.33 — коэффициент, учитывающий, что треть из тех, кто потенциально воспользуется мостом, в противном случае воспользовалась бы личным автомобилем, такси или каршерингом;

S — одна четвертая от дистанции до ближайшего моста, преодолимого для пешеходов; в среднем для четырех предлагаемых мостов составляет 0.5 км;

v — скорость, с которой эта дистанция будет преодолена; с учетом тенденции на распространение средств индивидуальной мобильности, принималась как 10 км/ч;

$3\Pi_{cp}/160$ — средняя заработная плата, разделенная на количество рабочих часов в месяц; принималась за 50 тыс. руб. с учетом допущений.

При подстановке значений в формулу (1) эффект составит за одно пересечение моста

$$(132\ 100 \times (1/5\ 601\ 911) \times 127 \times 0.5 \times 0.33) + (0.5/10 \times (50\ 000/160)) = 16.12 \text{ руб.}$$

При повышении заработной платы и стоимости углеродной единицы этот эффект будет возрастать. В зависимости от конкретного моста эффект колеблется от 10.7 до 23.9 руб. за пересечение.

Социально-экономический и экологический эффект в течение 50 лет превысит минимальные затраты на строительство четырех мостов, если по каждому из них в день будут проходить 14.2 тыс. чел (или 7.1 тыс. чел в одну и другую сторону), и превысит максимальные затраты, если по каждому из них в день будут проходить 17.5 тыс. чел. Без социологических опросов не представляется возможным точно отразить, какое количество жителей Невского и Красногвардейского районов города, а также, например, курьеров будут пользоваться предлагаемыми мостами. Но, если исходить из численности и плотности населения, эти оценки реалистичны.

Фактор наличия, состояния и модернизационного развития инфраструктуры оказывает существенное влияние на устойчивый социально-экономический рост [1, с. 166]. Улучшение транспортной связности как посредством повышения пропускной способности существующих путей сообщения, так и через строительство новых коммуникаций, приведет к повышению мобильности. Это позволит снизить анизотропию и поляризацию социально-экономического пространства городской агломерации за счет сокращения финансовых, временных и экологических издержек, связанных с маятниковой миграцией к местам приложения труда [3, с. 40, 51].

Далее приведем дополнительные выводы, сделанные на основании данных, полученных в процессе исследования. Для Санкт-Петербурга:

1) мост Александра Невского на левом берегу выходит к сложной одноуровневой развязке с пятью или шестью входящими/исходящими потоками и несколькими нерегулируемыми пешеходными переходами. Для проезда на Невский проспект

необходимо преодолеть два светофора (далее, на участке Невского проспекта длиной 900 м, размещено еще четыре светофора). Подобная ситуация становится причиной дорожных заторов, и, вероятно, это потребует строительства инженерных сооружений для создания дополнительных уровней движения. Для разгрузки такого транспортного узла представляется целесообразным маршруты автобусов № 55 и № 169А перенести с улицы Амбарной на улицу Александра Невского (таким образом уже осуществляется оборот троллейбусов). Маршрут № 58 для предотвращения дублирования троллейбусных линий видится возможным перенести на Глухоозерское шоссе (обратно по набережной Обводного канала);

2) развязка на восточном подъезде к Володарскому мосту имеет сразу шесть нерегулируемых пешеходных переходов. При увеличении загруженности транспортного узла это может повлечь за собой их ликвидацию и соответствующие риски, то есть усложнение пешеходных маршрутов, рискованные переходы в неразрешенном месте;

3) трамвайная линия по Литейному мосту не используется при регулярном маршрутном сообщении, но сохраняется для экскурсионных и служебных рейсов; это связано с невозможностью организации остановок на проезжей части загруженного Литейного проспекта. Вместе с тем этот маршрут практически напрямую связывает Финляндский и Московский вокзалы, при необходимости он может быть продлен до Витебского вокзала и площади Тургенева. С учетом затрат времени, связанных

со спуском по эскалатору на станции метро глубокого заложения, целесообразно рассмотреть возможность организации трамвайного экспресса на данном участке и ночного движения вдоль трассы Первой (Кировско-Выборгской) линии метро, за исключением Литейного моста.

Иные выводы:

1) в обоих городах расстояние между мостами сокращается от периферии к центру и от истока реки к ее устью; прямой связи между длиной моста и близостью устья нет;

2) Лондон имеет множество петлеобразных маршрутов пригородных поездов и автобусов. При такой же нагрузке на мосты это увеличивает охват маршрута;

3) в рассматриваемых городах на указанных реках нет мостов с односторонним движением или «противошерстной» выделенной полосой;

4) в Лондоне на протяжении уже более полувека актуальна проблема старения переправ; некоторые из них рассчитаны еще на конные экипажи. Мосты закрывают на ремонты и реконструкции, вводят ограничения на проезд и скорость движения. В Санкт-Петербурге эта проблема сегодня актуальна только для мостов в центре города;

5) в центре Лондона на двенадцатикилометровый участок между мостами Putney и London приходится шесть выделенных полос (в направлении на левый берег). Этот показатель предлагаем закрепить в научной литературе и нормативной практике как стандарт: расстояние между параллельными улицами, имеющими выделенную полосу как минимум в одном направлении, не должно превышать двух километров.

Список источников

1. Гончарова А. Р., Стоянова И. А. О стратегической значимости портовой инфраструктуры в социально-экономическом развитии РФ и ее регионов // Экономика промышленности. 2021. Т. 14. № 2. С. 164–171. DOI: 10.17073/2072-1633-2021-2-164-171
2. Коломак Е. А. Пространственное развитие России в XXI в // Пространственная экономика. 2019. Т. 15. № 4. С. 85–106. DOI: 10.14530/se.2019.4.085-106
3. Романова Е. А., Виноградова О. Л., Фризина И. В. Эффект сжатия социально-экономического пространства в условиях приграничья (на примере СЗФО) // Балтийский регион. 2015. № 3. С. 38–61. DOI: 10.5922/2074-9848-2015-3-3
4. Блануца В. И. Территориальная структура цифровой экономики России: предварительная делимитация «умных» городских агломераций и регионов // Пространственная экономика. 2018. № 2. С. 17–35. DOI: 10.14530/se.2018.2.017-035
5. Ворошилов Н. В., Губанова Е. С. Дифференциация территорий и механизм ее снижения // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2018. Т. 11. № 6. С. 57–72. DOI: 10.15838/esc.2018.6.60.4
6. Коломак Е. А. Оценка пространственной связности экономической активности российских регионов // Регион: экономика и социология. 2019. № 4. С. 55–72. DOI: 10.15372/REG20190403

7. Колесников Н. Г. Методика оценки транспортной связности территории на примере сети всепогодных автодорог Республики Саха (Якутия) // Экономика Востока России. 2017. № 1. С. 102–106. DOI: 10.13140/RG.2.2.15131.16161
8. Transport for a world city. London: National Infrastructure Commission, 2016. 71 p. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/506633/Transport_for_a_world_city_-_100316.pdf (дата обращения: 17.05.2023).
9. Plan your journey // National Rail. URL: <https://www.nationalrail.co.uk/> (дата обращения: 17.05.2023).
10. Оценка социально-экономического эффекта публикации открытых данных на примере данных общественного транспорта Москвы / Р. Е. Артамонов, С. Б. Датиев, А. Б. Жулин [и др.]. М.: ИД Высшей школы экономики, 2015. 92 с.
11. Population statistics in maps and charts for cities, agglomerations and administrative divisions of all countries in the world // City Population. URL: <http://citypopulation.de/> (дата обращения: 16.05.2023).
12. Старшов Е. Д., Соколова Е. В. Факторы формирования транспортного поведения горожан (на примере Санкт-Петербурга) // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2021. № 2. С. 123–135. DOI: 10.52897/2411-4588-2021-2-123-135
13. Об утверждении укрупненных нормативов цены строительства. НЦС 81-02-09-2022. Сборник № 09. Мосты и путепроводы: приказ Минстроя России от 18 февраля 2022 г. № 113/пр // Минстрой России. 2022. 18 февраля. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/140977/> (дата обращения: 20.06.2023).
14. Международные подходы к углеродному ценообразованию. 2021. Январь // Министерство экономического развития РФ. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/c13068c-695b51eb60ba8cb2006dd81c1/13777562.pdf> (дата обращения: 08.09.2023).

References

1. Goncharova A.R., Stoyanova I.A. Strategic significance of port infrastructure in social and economic development of the Russian Federation and its regions. *Ekonomika promyshlennosti = Russian Journal of Industrial Economics*. 2021;14(2):164-171. (In Russ.). DOI: 10.17073/2072-1633-2021-2-164-171
2. Kolomak E.A. Spatial development of Russia in XXI century. *Prostranstvennaya ekonomika = Spatial Economics*. 2019;15(4):85-106. (In Russ.). DOI: 10.14530/se.2019.4.085-106
3. Romanova E., Vinogradova O., Frizina I. Social and economic space compression in border areas: The case of the Northwestern Federal District. *Baltic Region*. 2015;(3):28-46. DOI: 10.5922/2074-9848-2015-3-3 (In Russ.: *Baltiiskii region*. 2015;(3):38-61. DOI: 10.5922/2074-9848-2015-3-3).
4. Blanutsa V.I. Territorial structure of digital economy of Russia: Preliminary delimitation of 'smart' urban agglomerations an regions. *Prostranstvennaya ekonomika = Spatial Economics*. 2018;(2):17-35. (In Russ.). DOI: 10.14530/se.2018.2.017-035
5. Voroshilov N.V., Gubanova E.S. Territorial differentiation and mechanism for its reduction. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. 2018;11(6):57-72. DOI: 10.15838/esc.2018.6.60.4 (In Russ.: *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*. 2018;11(6):57-72. DOI: 10.15838/esc.2018.6.60.4).
6. Kolomak E.A. Estimating spatial coherence of economic activity in Russian regions. *Region: ekonomika i sotsiologiya = Region: Economics and Sociology*. 2019;(4):55-72. (In Russ.). DOI: 10.15372/REG20190403
7. Kolesnikov N.G. Method of territorial transport connectivity assessment on the example of all-season road network of the Republic of Sakha (Yakutia). *Ekonomika Vostoka Rossii = Economics of Russian East*. 2017;(1):102-106. (In Russ.). DOI: 10.13140/RG.2.2.15131.16161
8. Transport for a world city. London: National Infrastructure Commission. 2016. 71 p. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/506633/Transport_for_a_world_city_-_100316.pdf (accessed on 17.05.2023).
9. Plan your journey. National Rail. URL: <https://www.nationalrail.co.uk/> (accessed on 17.05.2023).
10. Artamonov R.E., Datiev S.B., Zhulin A.B. et al. Assessment of the socio-economic effect of publishing open data using the example of Moscow public transport data. Moscow: HSE Publ.; 2015. 92 p. (In Russ.).
11. Population statistics in maps and charts for cities, agglomerations and administrative divisions of all countries in the world. City Population. URL: <http://citypopulation.de/> (accessed on 16.05.2023).
12. Starshov E.D., Sokolova E.V. Factors forming citizens' transportation behavior: The case of St. Petersburg. *Ekonomika Severo-Zapada: problemy i perspektivy razvitiya = Economy of the North-West: Issues and Prospects of Development*. 2021;(2):123-135. (In Russ.). DOI: 10.52897/2411-4588-2021-2-123-135

13. On approval of consolidated construction price standards. CPS 81-02-09-2022. Collection No. 09. Bridges and overpasses. Order of the Ministry of Construction of Russia dated February 18, 2022 No. 113/pr. Ministry of Construction of Russia. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/140977/> (accessed on 20.06.2023). (In Russ.).
14. International approaches to carbon pricing. Jan. 2021. Ministry of Economic Development of the Russian Federation. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/c13068c-695b51eb60ba8cb2006dd81c1/13777562.pdf> (accessed on 08.09.2023). (In Russ.).

Сведения об авторе

Григорий Игоревич Букреев

аспирант кафедры экономики
природопользования

Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова

119991, Москва, Ленинские горы, д. 1

Поступила в редакцию 17.10.2023
Прошла рецензирование 15.11.2023
Подписана в печать 27.11.2023

Information about the author

Grigoriy I. Bukreev

postgraduate student at the Department
of Environmental Economics

Lomonosov Moscow State University

1 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

Received 17.10.2023
Revised 15.11.2023
Accepted 27.11.2023

Конфликт интересов: автор декларирует отсутствие конфликта интересов,
связанных с публикацией данной статьи.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest
related to the publication of this article.