



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.7

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-3-6>

Определение стандарта транспортной доступности для внутренних пассажирских авиаперевозок

**Илья Вадимович Урюпин***Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН), Москва, Россия.*✉ iuryupin93@yandex.ru

ORCID 0000-0001-7258-754x

Илья УРЮПИН

АННОТАЦИЯ

Транспортные системы, в частности, авиационная, занимают важное место в развитии любого современного государства. Эффективное проектирование таких систем оказывает положительное влияние на социально-экономическую составляющую любой страны. Качество транспортной системы может быть оценено через её доступность для населения. В настоящее время одной из важных проблем долгосрочного развития авиатранспортной системы Российской Федерации является определение универсального показателя, позволяющего оценить транспортную доступность и её возможный целевой стандарт.

В статье предлагается подход к оценке авиатранспортной доступности при помощи математического

моделирования. В качестве критерия используются два показателя: потенциальное число пассажиров в зонах подбора каждого аэропорта и время пассажира в системе. Разработана методика определения предлагаемых индикаторов. Применение подхода по оценке авиатранспортной доступности демонстрируется на сети 2019 года.

Также приведён пример целевой (моделируемой) сети внутренних пассажирских авиаперевозок, позволяющей существенно повысить авиатранспортную доступность. На основе полученных результатов в работе предложены целевые стандарты значений авиатранспортной доступности для Российской Федерации.

Ключевые слова: авиатранспортная система, транспортная доступность, математическое моделирование.

Для цитирования: Урюпин И. В. Определение стандарта транспортной доступности для внутренних пассажирских авиаперевозок // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 3 (106). С. 66–73. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-3-6>.

**Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.**

ВВЕДЕНИЕ

Социально-экономический успех любой страны напрямую зависит от развития и эффективности её транспортных систем [1; 2], в частности авиационной. Одними из ключевых характеристик транспортной системы является её доступность [3; 4] и связность [5–7]. Известна по меньшей мере одна попытка государственных органов задать критерии доступности транспортной услуги для долгосрочного развития транспортной системы. Например, в докладе,¹ говорится о том, что к 2050 г. 90 % граждан Европейского Союза должны иметь возможность совершить поездку «от двери до двери» не более чем за четыре часа. В том виде, в котором сформулирована цель развития европейской транспортной системы, заложено три фактора: первый – принцип «от двери до двери» – отражает так называемый холистический подход к проектированию транспортных систем [8]; второй – целевое значение не распространяется на всё население (порядка 50 млн. человек будут находиться за пределами установленных стандартов); третий – выбор абсолютного временного значения – ясно отражает географические особенности региона. Расстояние между четырьмя крайними столицами в континентальной Европе (Лиссабон, Таллин, Хельсинки и Афины) не превышает 3400 км (пять часов полётного времени).

В отличие от зарубежных стран, в Российской Федерации пока не сложилось единого представления о критериях оценки качества транспортной системы, ни в изолированном – только авиационный сегмент, ни в общем, включающем наземные участки, виде. Официально утверждённые показатели для авиатранспортной системы (АТС)² – например уровень мобильности, количество линий, облетающих Москву – являются важными, но недостаточно чётко определяющими транс-

портное качество национальной сети показателями.³

В настоящее время экспертным сообществом только обсуждаются подходы к определению универсального критерия [9–11], который мог бы объективно оценить транспортную доступность [12] АТС и задать её целевые значения.

Целью исследования является разработка методического подхода к оценке транспортной доступности пассажирских авиаперевозок для определения её целевых значений.

В качестве единого критерия транспортной доступности внутренних пассажирских авиаперевозок автором предлагается рассматривать два дополняющих друг друга показателя: *потенциальное число пассажиров* и *время пассажира в системе*. Первый показатель характеризует саму по себе возможность долететь до нужного ему пункта назначения: аэропорты и в начальном, и в конечном пунктах доступны и до них можно добраться по дороге; существуют перевозчики, которые выполняют рейсы в/из первого и последнего аэропорта, а на маршруте следования возможно совершить одну или несколько пересадок. Временной же показатель описывает способность АТС доставить пассажира из одного пункта назначения в другой за определённое время и с не более чем заранее заданным числом пересадок.

На основе *математического моделирования* [13; 14], с использованием статистических данных, разработана методика расчётов предлагаемых показателей единого критерия транспортной доступности. Получена оценка авиатранспортной доступности сети 2019 года. Выбор 2019 года обосновывается тем, что

³ Кроме отмеченных автором, Транспортная стратегия содержит большое количество понятий и индикаторов развития транспортной системы, мобильности населения, в том числе авиационной. Так, в Транспортной стратегии впервые определены такие понятия, как «авиационная подвижность», «местная воздушная перевозка», «опорная сеть аэродромов (аэропортов) гражданской авиации», «региональная воздушная перевозка», «социальный стандарт транспортного обслуживания граждан», «транспортная доступность» и другие. В числе прогнозируемых итогов реализации Транспортной стратегии: «транспортная доступность столицы соседнего субъекта Российской Федерации – не более 5 часов»; «возможность перемещения в пределах 12 часов между всеми городами Российской Федерации с населением более 100 тыс. человек». Среди индикаторов достижения целей Транспортной стратегии, в частности, «авиационная подвижность жителей удалённых и труднодоступных районов» с соответствующими показателями, и другие. – прим. ред.

¹ European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, Directorate-General for Research and Innovation, Flightpath 2050: Europe's vision for aviation: maintaining global leadership and serving society's needs, Publications Office. – 2011. [Электронный ресурс]: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/296a9bd7-fef9-4ae8-82c4-a21ff48be673/language-en>. Доступ 23.04.2023.

² Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. [Электронный ресурс]: <https://mintrans.gov.ru/file/473193>. Доступ 23.04.2023.





Рис. 1. Иллюстративный пример фрагмента карты достижимости населённых пунктов [выполнено автором].

он наиболее полно отражает устоявшуюся АТС РФ. Последующие 2020–2021 гг. для АТС характеризуются изменениями, связанными с внешними факторами, в том числе COVID19.

Приведён пример моделирования целевой сети на 2035 год, позволяющий улучшить показатели транспортной доступности относительно уровня 2019 года и задать их возможный целевой стандарт.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методика определения транспортной доступности

Разработанный методический подход к определению транспортной доступности подразумевает два этапа. На первом этапе, с помощью моделирования зоны подбора каждого аэропорта, определяется потенциальное число пассажиров в АТС. Под «зоной подбора» понимается потенциальное число пассажиров, которое можно отнести к конкретному аэропорту. Второй этап посвящён расчёту временных затрат пассажира конкретного аэропорта.

1. Потенциальное число пассажиров PP_i аэропорта X_i , $i = 1, \dots, N$ – определяется как число жителей (в долях от общего населения страны), которым доступна национальная авиатранспортная система:

$$PP_i = \frac{Z_i}{Pop_{RF}}, \quad i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

где Pop_{RF} – численность населения Российской Федерации;

Z_i – зона подбора i -ого аэропорта;

$N \in \mathbb{N}^*$ – множество всех аэропортов РФ.

Потенциальное число пассажиров в целом для АТС РФ может быть определено как:

$$PP = \sum_{i=1}^N PP_i, \quad N \in \mathbb{N}^*. \quad (2)$$

В общем случае численность населения населённого пункта, рядом с которым расположен аэропорт, не совпадает с его зоной подбора. Кроме того, зачастую рядом с населённым пунктом может находиться несколько аэропортов. Поэтому определение размеров зон подбора Z_i , $i = 1, \dots, N$ выделяется как отдельная подзадача.

Для определения населения в зонах подбора применяется математическая модель [15], в которой в качестве основной меры преодоления пространства берётся время подвоза до аэропорта. Время поездки от населённого пункта до аэродрома определяется с учётом протяжённости существующей дорожной сети. В качестве верхней границы удалённости населённого пункта от аэродрома берётся расстояние в 500 км по ортодромии. Максимальное допустимое время в дороге до аэропорта ограничивается пятью часами. Выбор такого временного ограничения обусловлен большой протяжённостью территории Российской Федерации, а также неравномерным распределением населения и объектов наземной инфраструктуры. В качестве примера можно привести территорию Еврейского автономного округа, где отсутствуют аэропорты. Наиболее крупным и близким аэропортом является Хабаровск, находящийся в другом регионе, при этом автомобильная поездка потребует порядка пяти часов, что подтверждает величину выбранного верхнего ограничения.

При моделировании с помощью весовой функции [15] также учитываются находящиеся в радиусе 500 км альтернативные аэродромы. Привлекательность того или иного аэродрома для населённого пункта зависит от частоты рейсов и удалённости и выражается в виде весовых коэффициентов, за счёт чего происходит распределение населения по зонам подбора аэропортов.

На рис. 1 представлен в качестве иллюстративного примера фрагмент полученной автором карты достижимости (в рамках пяти часов поездки до аэропорта) населённых пунктов до пунктов полёта. Синими и фиолетовыми точками⁴ обозначены аэродромы и вертодромы. Зелёными, жёлтыми, оранжевыми и красными точками – в зависимости от удалённости – окрашены населённые пункты. Для красных точек достижимость аэропорта отсутствует или составляет более пяти часов. Зелёными обозначены пункты, находящиеся в непосредственной близости от аэродромов.

Решение задачи выделения зон подбора для каждого из аэропортов страны позволяет решить основную задачу – определение существующего или перспективного диапазона значений транспортной доступности национальной АТС.

2. *Время пассажира в системе* TS_i для аэропорта X_i , $i = 1, \dots, N$ определяется как максимальное значение из минимальных времён, за которое из данного X_i аэропорта можно долететь до любого X_j , $j = 1, \dots, M$ аэропорта из множества $M \subseteq N-1$ доступных аэропортов с не более чем заданным количеством k пересадок на l маршрутах:

$$TS_i = \max_{j=1, \dots, M} \min_{l=1, \dots, L} T_{ij}^l, \quad (3)$$

$i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, M, l = 1, \dots, L, N, M, L, \in N^*$.

В формуле (3) T_{ij}^l – время, затрачиваемое на перевозку из X_i аэропорта в X_j с не более чем k пересадками; L – множество возможных маршрутов достижимости аэропорта X_j из заданного.

Очевидно, что при фиксированном k существует вероятность попасть из X_i в X_j несколькими способами. Неединственность связи характерна и для прямого маршрута ($k = 0$), так как возможно наличие нескольких рейсов, отличающихся как по времени выполнения, так и по времени перелёта (рис. 2).

Минимизация в (3) обеспечивает поиск лучшего времени перелёта среди всех маршрутов с разным допустимым количеством пересадок для пары $X_i \rightarrow X_j$. А максимизация позволяет получить верхнюю оценку времени перевозки среди лучших (минимальных) для аэропорта X_i .

⁴ Цветная версия доступна на Веб-сайте журнала. – прим. ред.

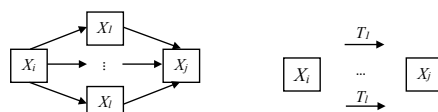


Рис. 2. Иллюстрация неединственности маршрутов из X_i в X_j (не является результатом, носит иллюстративный, поясняющий характер [создана автором]).

Общее время перевозки T_{ij} для одного из возможных l маршрутов с k пересадками можно определить как:

$$T_{ij} = \sum_{n=0}^k (t_n + \tau_n), \quad (4)$$

где t_n – время перелёта на одном из сегментов маршрута;

τ_n – время ожидания рейса.

В равенстве (4), если время прямого перелёта между двумя любыми аэропортами может быть получено из статистических данных, например, регулярного расписания внутренних авиаперевозок, то определение допустимого времени на ожидание рейса τ_n становится дополнительной задачей.

Так, время ожидания рейса перед полётом и сегментами маршрута можно рассчитать из годовых частот на линиях для X_i аэропорта отправления как отношение количества дней в году к количеству выполненных перевозок. Тогда время ожидания рейса для i -го аэропорта можно определить как:

$$\tau_i = \frac{365 \cdot T}{R_{ij}}. \quad (5)$$

В (5) $T = \{0; 12; 24\}$ – коэффициент пропускной способности (общий для системы);

R_{ij} – количество рейсов на сегменте маршрута ($k > 0$) или прямой линии ($k = 0$) из X_i в X_j .

Коэффициент пропускной способности позволяет получить время ожидания в трёх срезах: при 0 – время на ожидание рейса отсутствует; при 12 – время ожидания, равное среднему времени; при 24 – максимальное время ожидания. Иными словами, эти три среза соответствуют: первый – идеально синхронизированному расписанию по всей системе (без учёта ожидания), второй – синхронизированному частично (многосегментные перелёты с сетевым перевозчиком на большинстве сегментов); третий – максимально разбалансированное расписание (коммерческая связность сети полностью отсутствует).

В качестве альтернативной оценки времени ожидания рейса может использоваться



диапазон значений от 40 до 180 минут. Согласно⁵, нижняя граница пересадочного окна – минимальное стыковочное время (MCT – minimum connection time) составляет порядка 30–40 минут. Верхняя граница напрямую зависит от стандартов, принятых каждым аэропортом и авиакомпаниями. Для крупных, современных аэропортов время на пересадку в среднем составляет порядка 1–3 часов. Однако при таком подходе необходимо учитывать время отправления каждого рейса в каждом аэропорте на основе регулярного расписания пассажирских авиаперевозок.

Кроме определения времени ожидания, важным параметром для расчёта временного показателя покрытия сети является максимальное допустимое число пересадок – k . Современные системы бронирования билетов допускают рейсы с не более чем тремя пересадками. Однако с учётом географических особенностей страны, а также неравномерного распределения численности населения предлагается поднять ограничение числа возможных пересадок до пяти.

Поиск всех T_{ij}^n осуществляется с помощью формирования множества всех возможных маршрутов из X_i в другие аэропорты сети. Множество всех маршрутов получается из объединения прямых маршрутов с маршрутами, имеющими одну и более пересадок. Для получения маршрута с пересадкой используется декартово произведение прямых рейсов (связь «многие ко многим»). После на полученные маршруты накладываются ограничения:

- соответствие аэропорта прибытия относительно аэропорта вылета:

$$\{X_i \rightarrow X_j | X_i \rightarrow X_n, X_m \rightarrow X_j, n = m\}; \quad (6)$$

- исключение циклов одного или нескольких сегментов в маршруте:

$$\{X_i \rightarrow X_j | X_i \neq X_j\}. \quad (7)$$

Маршруты, рейсы по которым не удовлетворяют указанным критериям, не рассматриваются. Два аэропорта, для которых не нашлось ни одного маршрута, удовлетворяющего критериям, считаются недостижимыми. Для получения маршрутов с более чем одной пересадкой используется увеличение

⁵ International Air Transport Association (IATA). Minimum Connect Time (MCT) User Guide. [Электронный ресурс]: https://www.iata.org/contentassets/638f0938b3dd451b872a1d8357755421/minimum-connecting-time-user-guide_version-1.1.pdf. Доступ 24.04.2023.

числа декартовых произведений прямых рейсов с учётом ограничений (6), (7) для каждого нового плеча. К итоговому множеству всех рейсов, содержащих маршруты с $k = 0, 1, \dots, 5$ пересадками, применяется выборка, позволяющая получить лучшие (минимальные по времени до каждого X_j) рейсы для каждого X_i . Также для каждого пункта вылета ставится в соответствие население, находящееся в зоне подбора – потенциальное число пассажиров (PP). Далее осуществляется выбор максимального времени, затраченного на перевозку, среди пунктов вылета, обеспечивающих определенную долю населения России.

В отличие от PP , временной показатель TS или «способность» долететь не имеет чётко заданного диапазона значений. Прежде всего потому, что его нельзя рассматривать в отрыве от географических характеристик страны и особенностей расселения населения по её территории. Ортодромическое расстояние между двумя самыми удалёнными аэропортами (Симферополь и Менделеево (о. Кунашир)) составляет 8067 километров. При средней маршрутной скорости реактивного ВС 800 км/час время в пути между этим двумя пунктами составит, с учётом реального маршрута, не менее 12 часов. Это значение задаёт некий ориентир минимального теоретического значения TS для 100 % граждан Российской Федерации.

Оценка транспортной доступности сети 2019 года

Для определения диапазона реалистичных значений показателей доступности авиатранспортной системы России была проведена диагностика уже достигнутых её параметров. В качестве базовой транспортной системы для расчётов показателей доступности выбрана АТС 2019 года. Количество доступных пересадок ограничено пятью. Время ожидания рейса определено исходя из средних годовых частот ($T = 12$). На графике (рис. 3) автором представлен результат расчётов предлагаемых показателей доступности – график зависимости PP от TS для всей АТС.

Результаты моделирования показали, что при заданных граничных условиях не существует аэропорта, который был бы связан со всеми другими аэропортами страны.

Как видно из графика, половина населения страны находится друг от друга в восьми часах

маршрутного времени при передвижении только авиационным транспортом (без учёта наземного сегмента). Затем наблюдается бурный рост связности сети: при увеличении времени нахождения пассажира в путешествии на 20 % (до 10 часов), доля связанного авиацией населения растёт более чем на 40 %. Затем потенциал подбора пассажиров на относительно компактной и густонаселённой части страны исчерпывается, и недостатки сложившейся АТС начинают проявляться самым очевидным образом. В пределах заявленного ранее ориентира – 12–15 часов живёт менее 3/4 граждан России. В то же время, более 19 млн человек (13 %) живёт на дистанции более 24 часов от остальной части страны.

Резервы повышения доступности сосредоточены в двух направлениях. Во-первых, смещение кривой распределения влево, то есть сокращение временного показателя покрытия, и вверх – увеличение доли населения с фиксированным временем оказания транспортной услуги.

Оценка транспортной доступности целевой сети 2035 года

Вместе с оценкой транспортной доступности АТС 2019 года рассмотрено применение предлагаемых показателей транспортной доступности на целевой (моделируемой) маршрутной сети 2035 года. Моделирование сети внутренних авиаперевозок основывается на числе имеющихся сейчас связей конкретного аэропорта с другими аэропортами страны. Главным критерием качества совокупной маршрутной сети является обеспечение минимального времени путешествия для максимально возможной доли населения страны.

Целевую авиатранспортную систему предлагается рассматривать как трёхранговый граф. Пункты полёта первого ранга образуют «опорную» сеть и имеют связи друг с другом по принципу «каждый с каждым». В этот сегмент отнесены 12 аэропортов (Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Краснодар, Новосибирск, Омск, Красноярск, Якутск, Самара, Ростов-на-Дону, Иркутск, Хабаровск), на которые приходится большой пассажиропоток как между самими аэропортами опорной сети, так и транзитный из других сегментов АТС.

Ко второму рангу относятся 133 аэропорта, связанных с узлами 1 ранга, частично друг

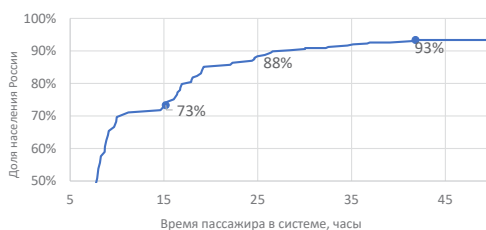


Рис. 3. Достигнутые показатели авиатранспортной доступности на 2019 г. [результат моделирования показателей авиатранспортной доступности на 2019 г., полученный автором].

с другим и аэропортами 3 ранга. Эта группа является принципиально важным сегментом, обеспечивающим скорость передвижения по всей сети.

Остальные пункты маршрутной сети составляют группу 3 ранга, которые связаны только с аэропортами второго ранга и не имеют прямой связи с сетью маршрутов первого ранга. Аэропорты этого сегмента являются «тупиковыми» и замыкают (открывают) собой только последнее (первое) плечо в маршрутной сети страны. Этот сегмент АТС характеризуется 247 аэродромами и посадочными площадками. Ранжированное представление пунктов полёта было разработано также в виде карты, иллюстративный фрагмент которой представлен на рис. 4.

Предлагаемая реорганизация авиатранспортной сети подразумевает переход к «хабовой» системе, то есть сокращение эксплуатации прямых линий в пользу рейсов с пересадками. При таком подходе происходит отказ от эксплуатации беспосадочных линий с малым трафиком, одновременно с чем формируются новые авиасвязи на маршрутах, где в настоящий момент прямое авиасообщение отсутствует, но потенциального пассажиропотока достаточно для ежедневного рейса.

Оценка потенциального пассажиропотока между городами определяется с помощью множественной регрессии [16]. В перечень влияющих факторов вошли стандартные для подобных моделей генерации трафика уровень доходов и численность населения в пунктах вылета и прилёта.

При моделировании сети и перераспределении потоков приняты следующие допущения:

- эксплуатация линии обязательно подразумевает выполнение как минимум 300 рейсов в год;
- эксплуатация линии начинается с воздушным судном минимально доступной





Рис. 4. Территориальное расположение пунктов полёта по рангам [выполнено автором].

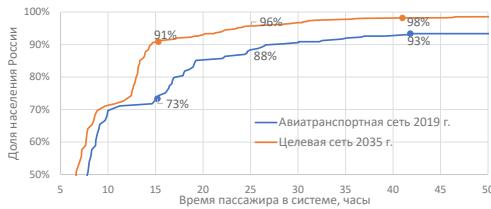


Рис. 5. Фактические и целевые значения показателей авиатранспортной доступности авиатранспортной системы России [итоговый результат, получен и выполнен автором].

пассажировместимости (19 мест для линий, протяжённостью до 800 км);

- при достижении планового уровня коэффициента загрузки судна на линии вводится второй рейс, а не увеличивается пассажироместимость;
- замена воздушного судна на большее производится при увеличении пассажиропотока до уровня насыщения двух рейсов в день;
- максимальная расчётная частота на линии – не более четырёх ежедневных рейсов;
- линии из аэропортов 3 ранга заканчиваются в аэропортах 2 ранга; для повышения уровня коммерческой загрузки допускается до двух промежуточных посадок;
- связи между двумя аэропортами 2 ранга, находящимися в ареале одного и того же хаба (до 1000 км), организуются со стыковкой в хабе в том случае, если пассажиропоток на них недостаточен для прямого рейса;
- увеличение протяжённости пути не должно превышать 50 %;
- связи между аэропортами 2 и 1 ранга, существовавшие в первый год моделирования, сохраняются на весь период.

В результате изменения структуры авиатранспортной системы, показатели транспортной доступности были существенно повышены (рис. 5). Несмотря на то, что добиться

полной связности всей сети не удалось, количество граждан России, которые не могли бы воспользоваться доступом ко всем без исключения аэропортам страны, уменьшится. Если в настоящее время при довольно мягких ограничениях на качество перелёта вся аэропортовая сеть недоступна 10 млн человек, то формирование широтной цепочки хабов и концентрация регионального потока в них снизит этот показатель более чем в три раза.

Ещё более значительные улучшения наступят в сегменте не экстремально длинных и сложных авиационных связей. Для 50 % населения время путешествия друг до друга сократится почти на 1 час 20 минут, а для 91 % вместо сегодняшних 73 % время нахождения в самолёте и ожидания в аэропортах суммарно не превысит 15 часов.

На основе полученных результатов моделирования авиатранспортной системы, целевые стандарты транспортной доступности могут быть установлены в следующих пределах:

$$7 \text{ часов} \leq (PP = 90\%) \leq 15 \text{ часов.}$$

Установление нижнего предела TS преследует цель стимулировать развитие авиатранспортной системы в западной части страны. Достижение этого показателя будет означать снижение маршрутного времени практически на 15 % для половины населения страны. Установление и достижение верхнего целевого показателя TS приведёт к тому, что возможностью получения транспортной услуги в пределах 15 часов смогут воспользоваться на 25 млн человек больше, чем в настоящее время.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

В работе представлена методика оценки авиатранспортной доступности внутренних

пассажирских перевозок, основанная на двух критериях: потенциальном числе пассажиров и времени пассажира в системе. С помощью предложенного подхода получена оценка транспортной доступности для авиатранспортной сети 2019 и 2035 годов. Результаты показали, что в 2019 году для 50 % процентов населения страны время оказания транспортной услуги (время пассажира в системе) находится в пределах 8 часов, для 75 % населения время возрастает до 16 часов, а для 90 % верхняя граница составит 28 часов. Для повышения качества транспортной доступности и определения её целевых значений проведено моделирование целевой авиатранспортной системы на 2035 год. Предложена трёхранговая модель сети. Оценка транспортной доступности моделируемой сети на 2035 год показала, что для 50 % населения время в системе может быть снижено до 7 часов, а для 90 % время в системе ограничится 15 часами, что практически вдвое улучшает оценку сети 2019 года. Полученные значения показателей могут рассматриваться в рамках приведённой модели как целевые стандарты авиатранспортной доступности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бардаль А. Б. Оценка качества транспортных услуг для населения // Сб. трудов конференции «Современные социально-экономические процессы: проблемы, тенденции, перспективы». – 2020. – С. 12–17. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45601033>. EDN: WAQCGI. Доступ 15.02.2023.
2. Baron, A. Air transport efficiency and its measures. Prace Instytutu Lotnictwa, 2010, Iss. 3 (205), pp. 119–132. [Электронный ресурс]: https://ilot.lukasiewicz.gov.pl/wp-content/uploads/2011/03/PIL_205.pdf. Доступ 15.02.2023.
3. Горбунов В. П. Эволюция представлений о транспортной доступности // Бюллетень транспортной информации. – 2019. – № 8. – С. 10–14. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/thilwp>. Доступ 15.02.2023.
4. Неретин А. С. Транспортное положение и доступность территорий Европейской России // Дисс... канд. геогр. наук. – М.: Ин-т географии РАН, 2018. – 193 с.
5. Тархов С. А. Изменение связности пространства России (на примере авиапассажирского сообщения). – М. – Смоленск: Ойкумена, 2015. – 154 с. ISBN 978-5-93520-084-8.
6. Дутов А. В., Ключков В. В., Рождественская С. М. Измерение и нормирование транспортной связанности и качества транспортного обслуживания страны и её регионов // Россия: тенденции и перспективы развития. – 2019. – № 14–2. – С. 43–48. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41381676> [платный доступ].
7. Горшкова И. В., Ключков В. В. Экономический анализ перспектив развития воздушного транспорта в малонаселённых регионах России // Проблемы прогнозирования. – 2011. – № 6 (129). – С. 36–52. [Электронный ресурс]: <https://ideas.repec.org/a/scn/009162/14689402.html>. Доступ 15.02.2023.
8. Van Nes, R. Design of multimodal transport networks: A hierarchical approach, 2002, 304 p. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Rob-Nes/publication/35732146_Design_of_multimodal_transport_networks_a_hierarchical_approach/links/00b49531ec16c5283a000000/Design-of-multimodal-transport-networks-a-hierarchical-approach.pdf. Доступ 15.02.2023.
9. Дубовик В. О. Методы оценки транспортной доступности территории // Региональные исследования. – 2013. – № 4. – С. 11–18. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21118992>. Доступ 15.02.2023.
10. Чистяков П. А., Фадеев М. С., Дмитриев М. Э. и др. Интегрированная транспортная система // Центр стратегических разработок. – М., 2018. – 278 с. [Электронный ресурс]: <https://www.csr.ru/uploads/2018/05/Report-Traffic-Infrastructure-2.0.pdf>. Доступ 15.02.2023.
11. Ковалева Е. Н. Интегральная транспортная доступность как показатель качества транспортного обслуживания // Журнал университета водных коммуникаций. – 2011. – № 3. – С. 171–175. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17037866>. Доступ 15.02.2023.
12. Егосин С. Ф., Смирнов А. В. Авиатранспортная доступность и транспортная дискриминация населения в субъектах Российской Федерации // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2018. – Т. 21. – № 3. – С. 78–90. DOI: <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2018-21-3-78-90>.
13. Janic, M. Air transport system analysis and modelling. CRC Press, 2000, 318 p. ISBN 9780429176623.
14. Washington, S., Karlaftis, M. G., Mannering, F., Anastasopoulos, P. Statistical and econometric methods for transportation data analysis. 3rd Edition. Chapman and Hall / CRC, 2020, 496 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429244018>.
15. Сухарев А. А., Власенко А. О., Урюпин И. В. Моделирование и оценка доступности местных и региональных авиаперевозок для населения РФ в интересах формирования требований к перспективным образцам авиатехники / Управление научными исследованиями и разработками: роль науки в достижении национальных целей. Труды V научно-практ. конференции (04 декабря 2019 г., Москва) / Ин-т проблем упр. им. В. А. Трапезникова Рос. акад. наук, НИЦ «Ин-т им. Н. Е. Жуковского»; под общ. ред. Дутова А. В., Новикова Д. А. – М.: ООО «Гарант-Инвест», Изд-во «Перо», 2020. – С. 188–196. [Электронный ресурс]: <https://www.nrzh.ru/upload/iblock/609/6095c04074cfffac654ea0c41a068d399.pdf>. Доступ 15.02.2023.
16. Richmond, S. B. Forecasting air passenger traffic by multiple regression analysis. J. Air L. & Com., 1955, Vol. 22, 434 p. [Электронный ресурс]: <https://scholar.smu.edu/jalc/vol22/iss4/4>. Доступ 15.02.2023.

Информация об авторе:

Урюпин Илья Вадимович – кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН), Москва, Россия, uryupin93@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 10.03.2023, одобрена после рецензирования 17.05.2023, принята к публикации 19.05.2023.

