

Методика оценки качества пассажирской авиатранспортной системы Российской Федерации

И. В. Урюпин¹, А.А. Сухарев², А.О. Власенко²

¹ Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" РАН, Москва, Россия

² ООО «Межотраслевой аналитический центр», Москва, Россия

Аннотация. В работе рассматривается задача оценки качества авиатранспортной системы для пассажира. Предложена методика решения исходной задачи, основанная на предлагаемых комплексных критериях качества авиатранспортной сети – «показателях транспортного стандарта». Разработан алгоритм расчета показателей на основе расписания внутренних полетов коммерческих пассажирских воздушных судов. Методика реализована в виде программного модуля, с помощью которого получены результаты оценки предложенных показателей на примере ретроспективного и модельного расписания воздушных перевозок.

Ключевые слова: авиатранспортная доступность, математическое моделирование, оценка качества перевозок, алгоритм, программный модуль.

DOI 10.14357/20718632230309

Введение

Одной из важных составляющих социально-экономического развития любой страны являются транспортные системы, включая авиационную. Эффективность управления такими сложными системами может быть оценена по разным критериям, от затрат на развитие инфраструктуры до степени удовлетворенности населения транспортом.

Уровень транспортного обслуживания определяется скоростью, своевременностью, предсказуемостью, ритмичностью и безопасностью функционирования любой транспортной системы. Высокое качество транспортного обслуживания напрямую приводит к увеличению эффективности экономических связей и мобильности населения, позволяя получить

ощутимый экономический и социальный эффект. Наряду с ценой для пассажиров важной составляющей качества перевозки является приемлемая длительность поездки.

В современной практике анализа [1,2] для оценки характеристик авиатранспортной системы (АТС) применяется ряд показателей [3], которые можно разбить на две группы. К первой группе относятся показатели эффективности процесса перевозки, такие как время, стоимость, количество пассажиров, процент коммерческой загрузки и т.д. Показатели этой группы используются для контроля хозяйственной деятельности субъектов АТС. Разработаны методики [4] их расчета и сбора необходимой для этого информации, законодательно закреплены состав и периодичность подачи данных, а также ответственность за ее недостоверность.

Ко второй группе относятся показатели эффективности оценки деятельности АТС в целом [5]. Такие показатели не просто отражают статистические характеристики системы на определенный момент времени, но и позволяют оценить не только качество функционирования, связность [6] АТС, но и выявить проблемные ситуации, препятствующие его дальнейшему эффективному развитию и управлению.

В Европейском Союзе при проектировании и исследовании транспортных систем применяется холистический подход, учитывающий все виды транспорта. Это возможно за счет находящихся в открытом доступе агрегированных статистических данных по каждому виду транспорта. В России подобная статистика ограничена и разобщена, что затрудняет применение зарубежных подходов. Кроме того, практика применения показателей качества транспортных систем, в частности АТС, в РФ в целом не развита, а программные комплексы позволяющие оценить эффективность таких систем отсутствуют.

Целью исследования является создание универсального инструмента, позволяющего на основе статистических данных оценить качество АТС РФ за конкретный период. Полученные оценки на разных временных срезах позволят получить динамику развития АТС для ее улучшения и повышения качества оказания транспортных услуг.

В рамках данной статьи для решения задачи оценки качества АТС РФ предлагается рассматривать два связанных показателя – *покрытие сети* и *временной показатель покрытия сети*. Особенность подхода заключается в рассмотрении этих показателей неразрывно друг от друга. Разработан алгоритм расчета предложенных индикаторов, реализованный в виде специального программного обеспечения с применением объектно-ориентированного программирования и баз данных. Моделирование временного показателя покрытия сети включало в себя учет таких факторов как время пересадки в каждом аэропорте и допустимое число пересадок. Получены результаты расчета показателей транспортного стандарта для российской АТС, которые демонстрируются на примере ретроспективного 2016 года и, созданного на его основе, модельного расписания воздушных перевозок.

Выбор демонстрации работы программного модуля на ретроспективных данных обосновывается тем, что полученная оценка может быть полезна в области дальнейших исследований динамики изменения АТС РФ. Другим важным моментом является наличие исходных данных, необходимых для предлагаемого расчета. Получение данных о расписании движения воздушных судов актуальнее 2016 года для некоммерческого использования, является финансово затратной операцией. В рамках коммерческого проекта авторы имели возможность применить методику к новым данным, однако публикация результатов носит конфиденциальный характер и не может быть опубликована, что ограничивает демонстрацию работы алгоритма доступными авторам данными за 2016 год.

1. Выбор критериев оценки качества и доступности авиатранспортной сети

При оценке эффективности транспортной системы (ТС) в целом, наряду с критериями экономического характера (тариф, удельная стоимость перевозки, доходная ставка эксплуатанта транспорта и т.п.) [7] целесообразно применять дополнительные критерии, позволяющие более полно характеризовать качество транспортной услуги для потребителя. В современной практике при оценке эффективности пассажирской ТС применяются, например, следующие комплексные критерии [8-12]:

1. Степень доступности транспортной услуги.
2. Степень удовлетворенности потребностей населения в услугах транспорта.
3. Уровень транспортных затрат (временных и денежных) в структуре затрат домашнего хозяйства, региона, страны.
4. Степень участия транспортной системы в загрязнении окружающей среды.

Использование подобных комплексных критериев вызвано необходимостью «балансировки» критериев экономической эффективности (рентабельность, себестоимость, прибыль и т.п.) в системе, описывающей характеристики отрасли. Наличие комплексных критериев препятствует оптимизации АТС исключительно из

соображений экономической эффективности перевозок, которая привела бы к повышению привлекательности ТС для перевозчиков в ущерб интересам населения. Примером могут служить имеющие место случаи намеренного уменьшения частот рейсов в отдаленные и труднодоступные пункты полета перевозчиками-локальными монополистами в целях уменьшения удельных затрат на перевозку пассажира за счет применения более вместительного ВС. В результате перевозчик снижает затраты на перевозку пассажира и получает дополнительную прибыль, в то время как для местных жителей существенно сокращается частота доступа к единственному виду транспорта.

Используя данные о хозяйственной деятельности перевозчика или всей гражданской авиации региона, выявить подобную ситуацию невозможно. Наоборот, отчетность покажет рост прибыли, пассажиропотока и расширение маршрутной сети (за счет чартерного направления). Показатель качества работы всей АТС позволит быстро выявить и скорректировать проблемную ситуацию с воздушным сообщением отдаленного пункта полета X , которая может выражаться, например, в увеличившемся времени воздушной перевозки из пункта X в любой другой пункт страны.

Определение целевого стандарта для транспортных систем является широко распространенной практикой [13]. Для его задания используются индикаторы различной природы. Вариантами критериев транспортного стандарта являются, например максимальное время перемещения пассажира от одной точки в другую или максимальное расстояние до ближайшей точки входа в транспортную систему (для АТС – до аэропорта).

Для оценки эффективности транспортной системы предлагается использовать два взаимосвязанных показателя качества для пассажира, названных авторами «показателями транспортного стандарта». Первый представляет собой покрытие сети (NC), второй – временной показатель покрытия сети (TS).

Покрытие сети NC показывает, до какой части (в процентах) от общего количества $P-1$ аэропортов АТС РФ физически возможно добраться из заданного пункта полета X_0 в

$X_i, i=1, \dots, N$ на расчетную дату $date_0$ с заданными значениями параметров качества стыковки – длительности пересадочного окна $t_{transfer}$ предельным количеством пересадок k

$$NC = \frac{N}{P-1} \cdot 100\% \quad (1)$$

В (1) $N \subseteq P$ – количество достижимых пунктов полета из X_0 на расчетную дату $date_0$ с заданными параметрами качества оказываемой транспортной услуги. В частном случае количество достижимых аэропортов может совпадать с общим числом пунктов полета в системе, однако, как будет показано далее, далеко не до любой точки АТС РФ можно добраться при заданных параметрах качества стыковки между аэропортами, что объясняется следующими особенностями АТС РФ:

- большая протяженность ряда воздушных линий из-за размера территории РФ и особенностей расселения по ней;
- низкая (один-три парных рейса в неделю) частота полетов по ряду воздушных линий;
- излишняя централизация маршрутной сети (существует много пар городов, между которыми отсутствуют прямые рейсы, перелеты между ними возможны только с пересадкой в Москве или другом крупном авиатранспортном узле).

Временной показатель покрытия сети TS предлагается определить как гарантированное минимальное время, которое пассажир должен потратить на перелет в конкретную дату $date_0$ из пункта X_0 аэропортовой сети до любой другой $X_i, i=1, \dots, N$, достижимой в принципе напрямую или не более чем за k пересадок. Через указанные параметры временной показатель покрытия сети может быть выражен формулами:

$$TS(X_0, date_0) = \max T_i(X_0, X_i, date_0), \quad (2)$$

$$T_i(X_0, X_i, date_0) = \min T_{ij}^k(X_0, X_{ij}, date_0), \quad (3)$$

$$k = 0, \dots, K, \quad K \in \mathbb{Z}_+, \quad i = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, M, \\ M, N \in \mathbb{N},$$

где T_i – лучшее время из X_0 в X_i ; T_{ij}^k время, затрачиваемое на перелет с не более чем k пересадками из X_0 в пункт X_{ij} . Индекс j допускает вероятную множественность маршрутов $X_0 \rightarrow X_i$ на заданную дату $date_0$ с одинаковым количеством пересадок k за счет возможных разных временных параметров, таких как время отправления $t_{dep_{ij}}$, время прибытия $t_{arr_{ij}}$, время прямого полета $t_{flight_{ij}}$, день недели прибытия $day_{arr_{ij}}$, время пересадки, задающееся допустимым интервалом

$$t_{transfer} \in [t_{transfer_{min}}, t_{transfer_{max}}].$$

В равенстве (3) среди всех допустимых маршрутов $X_0 \rightarrow X_{ij}$ с не более чем k пересадками определяются лучшие по времени для каждого X_i . Затем, согласно (2), из лучших по оказанию транспортной услуги маршрутов выбирается «худший», который определяет гарантированное время, не превосходя которое можно добраться из X_0 в любой другой X_i . Под «любой другой» точкой понимается точка, достижимая при двух следующих заданных параметрах качества оказываемой транспортной услуги:

- времени пересадки $t_{transfer}$;
- максимальном допустимом количестве пересадок k .

Стоит подчеркнуть, что рассматривать предложенные показатели качества пассажирских перевозок необходимо совместно, так как по отдельности они теряют свой смысл. Например, при получении высокого уровня NC для аэропорта X_0 , TS может стремиться в область запредельно высоких временных затрат, что соответственно будет свидетельствовать о плохом качестве транспортной услуги. Аналогичная ситуация может наблюдаться и при рассмотрении отдельно TS без учета покрытия сети. В этой ситуации возможен вариант низкого значения TS для аэропорта X_0 при таком же низком параметре NC .

2. Алгоритм расчета показателей транспортного стандарта для авиатранспортной сети

Исходной информацией для расчета показателей транспортного стандарта служит статистический массив данных ЦРТ ТКП¹ (Центр расписания и тарифов транспортной клиринговой палаты) о выполненных прямых рейсах по годам. Выбор такого источника обосновывается наиболее полной и точной базой данных о расписании пассажирских перевозок в РФ. Однако, как говорилось ранее, предоставление данных указанным ресурсом носит платный характер, что, в рамках этой работы, позволяет авторам рассматривать только имеющиеся в их распоряжении данные 2016 года.

Массив данных ТКП может быть реализован в виде базы данных. В строках данных сводной таблицы содержится следующая информация:

- Название рейса ($flights$);
- Тип воздушного судна ($plane$);
- Начальная дата периода выполнения рейса ($date_{start}$);
- Конечная дата периода выполнения рейса ($date_{finish}$);
- Код аэропорта отправления (X_{dep});
- Время отправления ВС (t_{dep});
- День недели, в который выполняется рейс (day_{dep});
- Код аэропорта прибытия ВС (X_{arr});
- Время прибытия ВС (t_{arr});
- День недели, в который прибывает рейс (day_{arr});
- Время в полете (t_{flight}).

Задача расчета временного показателя покрытия сети сводится к задаче поиска максимального значения среди минимальных. Т.е. для аэропорта вылета выбирается худшее (максимальное) время, затраченное на перелеты и пересадки, среди лучших (минимальных) по времени маршрутов между исходным аэропортом и связанными с ним.

¹ <https://www.tch.ru/>

Так как исходные данные содержат только прямые (без пересадок) маршруты M_0 , то получение множеств маршрутов с одной – M_1 , и более пересадками представляли собой отдельные подзадачи. Рассмотрим каждую из них как соответствующий этап алгоритма расчета временного показателя покрытия сети.

Этап 0. Получим множество допустимых прямых рейсов $\mathcal{M}_0$, сформированного из маршрутов M_0 для заданного аэропорта X_0 . Для этого ко множеству M_0 следует применить следующие условия:

$$date_{start} \leq date_0 \leq date_{finish}, \quad day_{dep} = day_0, \quad X_{dep} = X_0, \quad (4)$$

тогда время допустимых прямых перелетов будет выражено как

$$T_{ij}^0 = t_{flight_{ij}}.$$

Этап 1. Для получения множества маршрутов с одной пересадкой M_1 применяется декартово произведение множества допустимых прямых рейсов $\mathcal{M}_0$ с множеством прямых маршрутов M_0 :

$$M_1 = \mathcal{M}_0 \times M_0,$$

тогда допустимые рейсы с одной пересадкой $\mathcal{M}_1$ определяются из маршрутов M_1 с рядом ограничений:

– проверка на соответствие аэропорта прибытия первого плеча с аэропортом вылета второго плеча

$$X_{arr_{\mathcal{M}_0}} = X_{dep_{M_0}}; \quad (5)$$

– проверка совпадения даты прилета с датой вылета между плечами с учетом разных часовых поясов, а также стыковки двух рейсов относительно временного интервала пересадочного окна с возможностью попадания окна на переход между сутками

$$\begin{cases} day_{arr_{\mathcal{M}_0}} = day_{dep_{M_0}}, & date_{arr_{\mathcal{M}_0}} = date_0; \\ day_{arr_{\mathcal{M}_0}} = day_{dep_{M_0}} \pm 1, & date_{arr_{\mathcal{M}_0}} = date_0 \pm 1, \end{cases}$$

$$\left[\begin{cases} date_{dep_{M_0}} = date_{arr_{\mathcal{M}_0}}, \\ day_{dep_{M_0}} = day_{arr_{\mathcal{M}_0}}, \\ (t_{arr_{\mathcal{M}_0}} + t_{transfer_{min}}) \leq t_{dep_{M_0}} \leq (t_{arr_{\mathcal{M}_0}} + t_{transfer_{max}}), \\ \text{при } (t_{arr_{\mathcal{M}_0}} + t_{transfer_{max}}) \leq 24, \\ date_{dep_{M_0}} \in [date_{start_{M_0}}, date_{finish_{M_0}}], \\ t_{transfer} \in [t_{transfer_{min}}, t_{transfer_{max}}]. \end{cases} \right. \\ \left[\begin{cases} date_{dep_{M_0}} = date_{arr_{\mathcal{M}_0}} + 1 \\ day_{dep_{M_0}} = day_{arr_{\mathcal{M}_0}} + 1 \\ (t_{arr_{\mathcal{M}_0}} + t_{transfer_{min}}) \leq t_{dep_{M_0}} \leq (t_{arr_{\mathcal{M}_0}} + t_{transfer_{max}}), \\ \text{при } (t_{arr_{\mathcal{M}_0}} + t_{transfer_{max}}) > 24, \\ date_{dep_{M_0}} \in [date_{start_{M_0}}, date_{finish_{M_0}}], \\ t_{transfer} \in [t_{transfer_{min}}, t_{transfer_{max}}]. \end{cases} \right. \quad (6)$$

– исключение циклов сегментов в маршруте

$$X_{dep_{\mathcal{M}_0}} \neq X_{arr_{M_1}}. \quad (7)$$

Условие (7) исключает на маршруте с пересадкой возвращение в аэропорт вылета X_0 после совершения пересадки. Маршруты, рейсы которых не удовлетворяют критериям (5) – (7), отбрасываются. Два аэропорта, для которых не нашлось ни одного маршрута, удовлетворяющего критериям (5) – (7), считаются несвязанными.

Множество временных затрат на перелет с одной пересадкой определяется как

$$T_{1ij} = t_{flight_{ij} \mathcal{M}_0} + t_{transfer} + t_{flight_{ij} M_0},$$

а множество временных затрат с не более чем одной пересадкой – T_{ij}^1 получается при объединении множества временных затрат прямых рейсов с множеством временных затрат с одной пересадкой

$$T_{ij}^1 = T_{ij}^0 \cup T_{1ij}.$$

Для получения маршрутов с более чем одной пересадкой используется рекурсивный подход. Рассмотрим поиск рейсов с k пересадками.

Этап k . Определим количество маршрутов с k пересадками. При каждом последующем

увеличении количества пересадок в маршруте на одну происходит увеличение декартовых произведений на M_0 :

$$M_k = M_{k-1} \times M_0.$$

Для получения множества M_k необходимо проверять аналогичные условиям (5) – (6) условия для плеч между k -ой пересадкой. При каждом следующем увеличении всего рейса на одну пересадку условие (7) необходимо расширять дополнительными неравенствами вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{dep M_{k-1}} \neq X_{arr M_k}, k \geq 1, \\ \left\{ \begin{array}{l} X_{arr M_0} \neq X_{arr M_k} \\ \vdots \neq \vdots \\ X_{arr M_{k-2}} \neq X_{arr M_k} \end{array} \right. \quad k \geq 2. \end{array} \right.$$

Множество временных затрат перелетов с k пересадками может быть найдено как

$$T_{kij} = \begin{cases} t_{flight_{ij}}, & k = 0 \\ \sum_{k=0}^K t_{flight_{ij}} + \sum_{k=1}^K t_{transfer}, & k > 0. \end{cases}$$

или рекурсивно

$$T_{kij} = T_{k-1ij} + t_{transfer} + t_{flight_{ij} M_0}, k = 1, \dots, K.$$

Тогда множество временных затрат с не более чем k пересадками определяется как

$$T_{ij}^k = T_{ij}^0 \cup T_{1ij} \cup \dots \cup T_{k-1ij} \cup T_{kij},$$

или в более краткой форме

$$T_{ij}^k = T_{ij}^{k-1} \cup T_{kij}.$$

Условием окончания построения множества рейсов служит достижение предельного заданного числа пересадок.

После завершения поиска множества рейсов с не более чем k пересадками и соответствующего ему множества временных затрат, используя формулы (2) - (3) можно получить временной показатель покрытия сети для конкретного аэропорта на заданную дату. Для показателя NC множество достижимых аэропортов N совпадает с количеством рейсов после минимизации (3).

Разумеется, в случае необходимости расчета искомого параметра для всех аэропортов отправления следует на нулевом этапе алгоритма в неравенствах (4) исключить одно из начальных условий: $X_{dep} = X_0$, а все ограничения последующих этапов проверять для всех рейсов с разными пунктами отправления.

Предложенный авторами подход позволяет оценить качество любой авиатранспортной системы (включая моделируемую), так как в качестве основы обрабатываемой информации используется расписание движения воздушных судов.

Алгоритм расчетов показателей транспортного стандарта реализован с помощью разработанного программного модуля в среде объектно-ориентированного программирования C# [14]. Хранение исходных данных, используемых в алгоритме, реализовано с помощью базы данных в среде MS SQL [15]. Программный модуль позволяет рассчитать показатели транспортного стандарта как для конкретного аэропорта, так и для всех аэропортов в АТС. Интерфейс программы позволяет задавать расчетную дату, день недели, временные границы пересадочного окна, корректировать и осуществлять импорт исходных данных, а также экспортировать полученные результаты. Интерфейс программы представлен на Рис. 1.

3. Определение реалистичных параметров расчета показателей транспортного стандарта

Для применения разработанной методики расчета показателей транспортного стандарта были выбраны реалистичные входные параметры, а именно:

- допустимый диапазон пересадочного окна;
- приемлемое число пересадок;
- расчетная дата осуществления рейса.

Диапазон пересадочного окна и число пересадок являются важными параметрами, характеризующими качество перевозки по временному показателю. Согласно проведенному опросу Международной ассоциацией воздушного транспорта время (расписание и время полета) вместе с ценой и наличием льготных программ

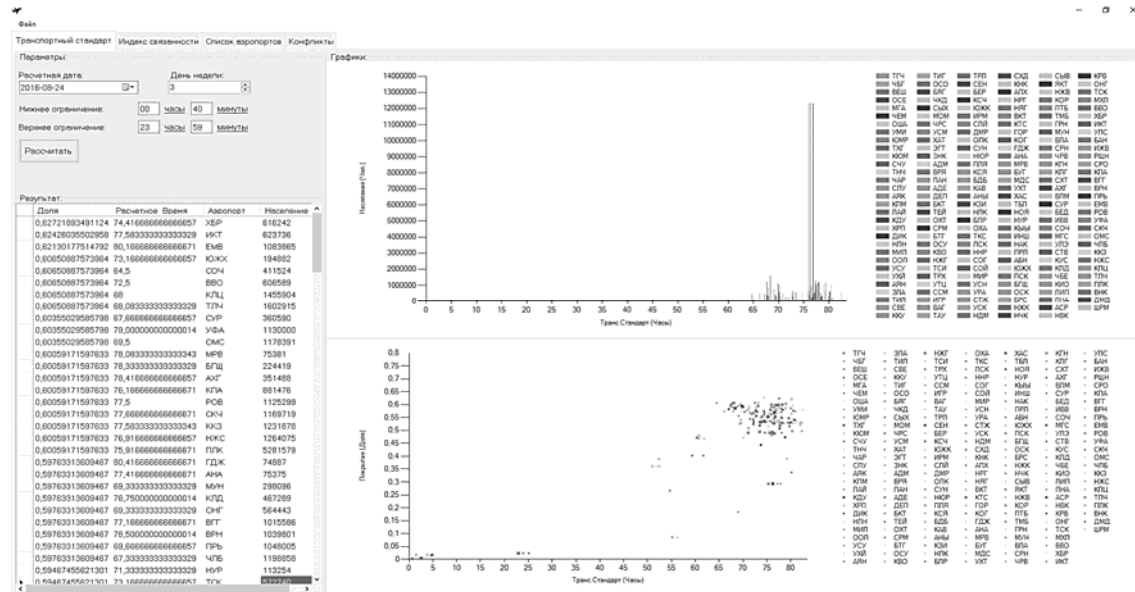


Рис. 1. Интерфейс программного модуля

для часто летающих пассажиров являются факторами, влияющими на выбор и покупку билета той или иной авиакомпания [16]. Диапазон пересадочного окна в терминах авиарейса представляет собой минимальное стыковочное время (MCT – minimum connection time), которое определяется как возможностями каждого конкретного аэропорта и расстоянием между залом прибытия и выходом на посадку с учетом прохождения паспортного контроля и контроля безопасности, так и авиакомпаниями при бронировании билетов. По данным [17] нижняя граница MCT составляет порядка 30-40 минут. В среднем же, в современных аэропортах на пересадку закладывается около 1-2 часов. Так, например, для аэропорта Шереметьево (SVO) MCT варьируется от 1 до 1,5 часа в зависимости от маршрута и терминала². Разумеется, логистика каждого конкретного аэропорта РФ разная и может уступать крупным пересадочным узлам таким как SVO. Поэтому, в качестве верхней границы MCT предлагается задать значение MCT в два раза превышающее для SVO. Таким образом, в качестве реалистичного диапазона пересадочного окна выбран интервал от 40 минут до 3 часов.

Выбор максимального допустимого количества пересадок в рейсе определялся на основе

анализа систем интернет-агрегаторов доступных рейсов. Такие системы предлагают рейсы внутри страны с не более чем тремя пересадками. Стоит отметить, что продолжительность авиарейса с тремя пересадками может составлять более суток, что непозволительно много для времени, затраченного на трансфер. Таким образом, верхним ограничением на максимальное количество пересадок для расчета показателей транспортного стандарта принято не более трех пересадок.

Расчетная дата. Среди наиболее распространенных подходов к выбору расчетного дня выделяют несколько методик [18, 19]: 30-го загруженного часа, среднезагруженного дня пикового месяца, рекомендованная FAA (Federal Aviation Authority), второго загруженного дня пикового месяца, рекомендованная IATA (International Air Transport Association).

При выборе расчетной даты для транспортного стандарта необходимо учитывать сезонность воздушных перевозок, которая вызвана различной природой пассажиропотока в разные периоды времени в течение года на различных воздушных линиях. Одним из наиболее ярких факторов, влияющих на транспортные возможности системы с учетом сезонности, является количество рейсов в конкретный день в определенный период. В статье

² <https://www.aeroflot.ru/ru-ru/information/airport/transit>

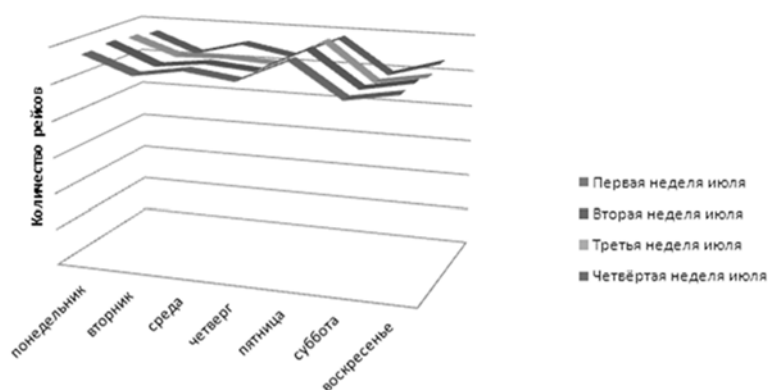


Рис. 2. Сравнение профилей четырех недель июля для аэропорта «Пулково»

предлагается подход, в основе которого, лежат месячные и сезонные циклы.

Анализ месячной цикличности аэропортов показывает, что профили всех недель месяца похожи (Рис. 2). Это позволяет ввести понятие «типовой недели месяца», в качестве которой можно выбрать любую из недель месяца. Так как цикл АТС представляет собой суперпозицию циклов аэропортов, авиакомпаний и воздушных трасс, то типовую неделю месяца можно применить ко всей АТС.

Максимальный расчетный день принадлежит весенне-летнему периоду (ВЛП), а минимальный - осенне-зимнему (ОЗП). Для определения максимального/минимального расчетного дня применяется следующий алгоритм:

1. Определим месяц с максимальным/минимальным количеством рейсов в ВЛП/ОЗП.
2. Выберем типовую неделю.
3. За максимальный/минимальный расчетный день примем второй наиболее/наименее загруженный (предпоследний по количеству рейсов) день недели.

Таким образом формируются расчетные даты для определения транспортного стандарта в весенне-летний и осенне-зимний периоды.

4. Расчеты показателей транспортного стандарта. Интерпретация результатов

Пример 1. На основе изложенной ранее методики рассмотрим расчет показателей транспортного стандарта для всех аэропортов отправления

на лучший расчетный день ВЛП из ретроспективного расписания 2016 года. Согласно определенным ранее реалистичным параметрам, при расчете максимальное допустимое число пересадок ограничивается тремя, а нижняя и верхняя границы пересадочного окна заданы в интервале от 40 минут до 3 часов. В качестве входной информации используются ретроспективные данные о расписании прямых линий за 2016 год. Согласно представленному в разделе 3 алгоритму, для весенне-летнего периода оптимальным расчетным днем будет являться дата 24.08.2016 г. (среда – 3-ий день недели), а для осенне-зимнего 24.01.2016 г. (воскресение – 7-й день недели). Результаты моделирования показали (Рис. 3), что авиатранспортная сеть внутренних пассажирских перевозок 2016 года оказалась не связанной. Для выбранного расчетного дня и граничных условий по числу и продолжительности пересадок на территории Российской Федерации не существует аэропорта, который был бы связан со всеми другими аэропортами страны при заданных параметрах качества.

Как показывают результаты расчетов, максимальной зоной покрытия (40-44%) обладают только 12 аэропортов страны, для всех остальных этот показатель хуже. Лучшим покрытием обладает аэропорт «Пулково» – чуть более 44% сети. При этом достигнутое значение транспортного стандарта для наиболее связанных узлов национальной АТС находится в интервале от 19,8 (Курумоч) до 33,5 (Ростов-на-Дону) часов. На Рис. 3 вышеупомянутая группа аэропортов находится на вершине зоны, в которую входит

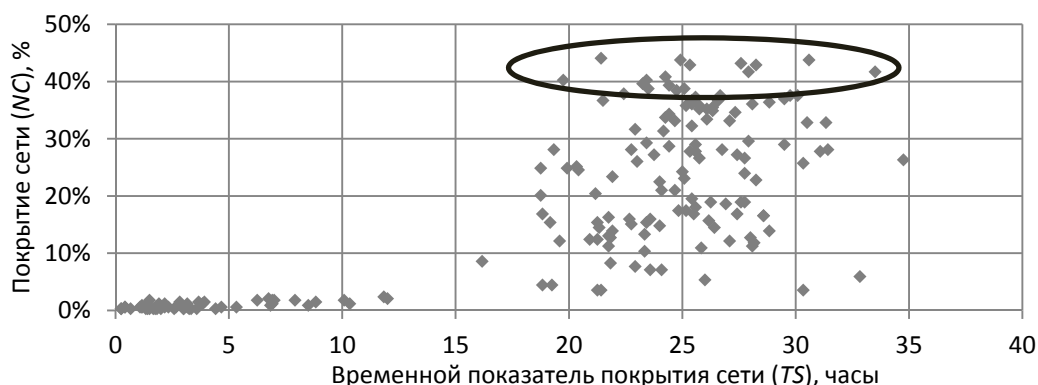


Рис. 3. Достигнутые значения показателей транспортного стандарта на 24.08.2016 г.

2/3 всех аэропортов страны и которая формирует облик современной авиатранспортной системы: высокое медианное значение временного показателя – 23 часа при небольшой зоне покрытия в 16% (Табл. 1).

Вместе с тем, анализ выявил существование еще одной группы аэропортов с очень специфическими транспортными характеристиками – крошечной (в пределах 5%) зоной покрытия и относительно приемлемыми значениями временного показателя. В эту группу вошли так называемые малые аэропорты, имеющие, как правило, только одно направление с очень низкой частотой выполнения рейсов, подверженной к тому же, очень сильному сезонному влиянию. Отсутствие рейсов в зимнем расписании для большого числа аэропортов приводит к различиям почти на порядок в значениях «летней» и «зимней» моды, как для временного показателя, так и для зоны покрытия.

На Рис. 4 представлено сравнение транспортных характеристик АТС в ВЛП и ОЗП. Очевидно, что сезонные расписания каждого из перевозчиков не оптимизируются по критерию связности сети в национальном масштабе, а строятся исходя из коммерческой и операционной целесообразности каждым из них по отдельности. Тем не менее,

глубина (частота рейсов) и ширина (количество пунктов) маршрутных сетей в летнюю и зимнюю навигации существенно разнятся. Для расчетных дней 2016 года число рейсов составило 1972 и 1328 рейсов соответственно, а число аэропортов, в которые выполнялись рейсы, – 185 и 98. Такая динамика АТС, однако, не привела к сколько-нибудь существенному улучшению ее качества ни в смысле связности, ни в смысле снижения значения достигнутого временного показателя.

Пример 2. Исходя из несвязности АТС РФ 2016 года произведем расчет показателей сети при других параметрах. Модель оценки параметров транспортной доступности АТС позволяет варьировать три параметра, которые могут оказать влияние на ТС и зону покрытия: расписание, продолжительность пересадочного окна и количество разрешенных пересадок. Последний параметр можно исключить из практических соображений, так как уменьшение этого показателя нелогично с точки зрения сложившихся транспортных практик, а увеличение заведомо приведет к ухудшению показателей оказания транспортной услуги. Проведем анализ эластичности по расписанию и продолжительности пересадочного окна.

Табл. 1. Основные статистические характеристики авиатранспортной системы РФ.

	Среднее значение (лето/зима)	Медиана (лето/зима)	Мода (лето/зима)
Временной показатель (TS), часы	18,6/21,6	23,3/21,6	1,2/20,0
Зона покрытия (NC) %	17,5/20,8	16/20,4	0,3/12,2

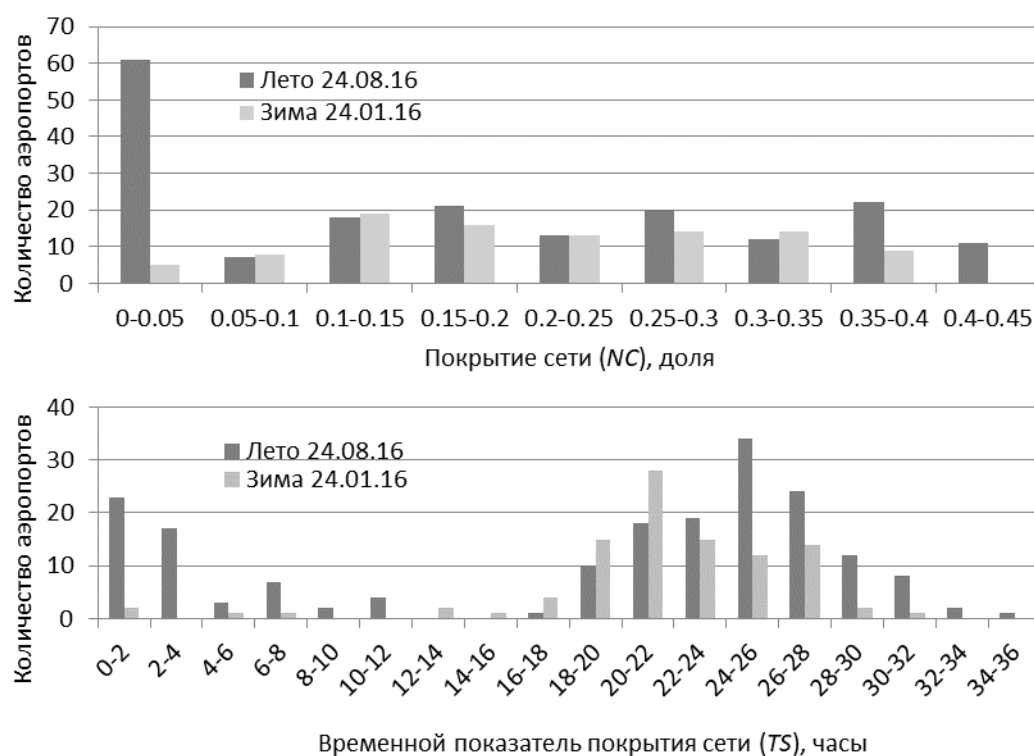


Рис. 4. Чувствительность показателей транспортного стандарта к сезонной частоте

На Рис. 5 представлены результаты расчетов временного показателя и зоны покрытия сети для модельного экспериментального расписания в рамках которого всем рейсам, частота которых в летнем расписании 2016 года была меньше 7 в неделю, был назначен ежедневный вылет со временем вылета согласно актуальному расписанию полетов.

Как видно из представленного графика, ежедневная частота выполнения рейсов, а значит расширенные возможности по их стыковке на всех трех сегментах полета, серьезно увеличивают зону покрытия национальной АТС: количество аэропортов с зоной покрытия 35%+ составило 106. Однако по-прежнему АТС осталась не связанной – ни для одного аэропорта страны зона

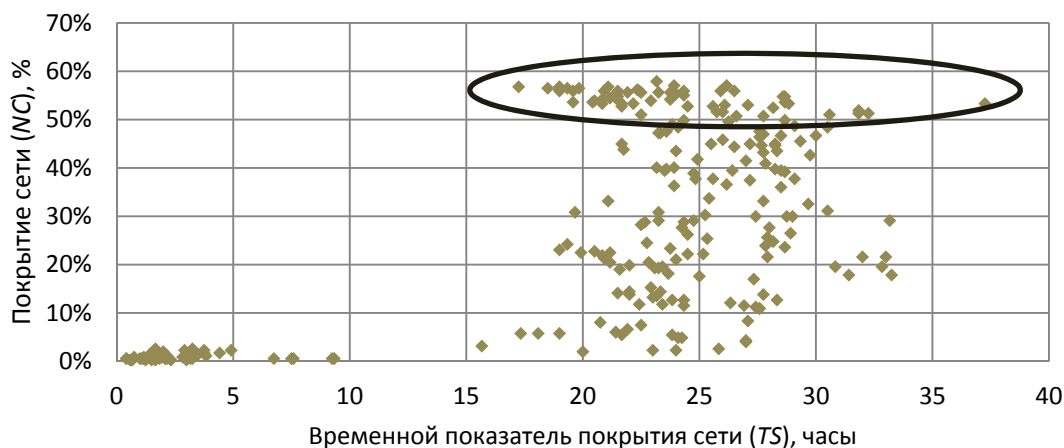


Рис. 5. Влияние частоты выполнения рейсов на показатели транспортного стандарта

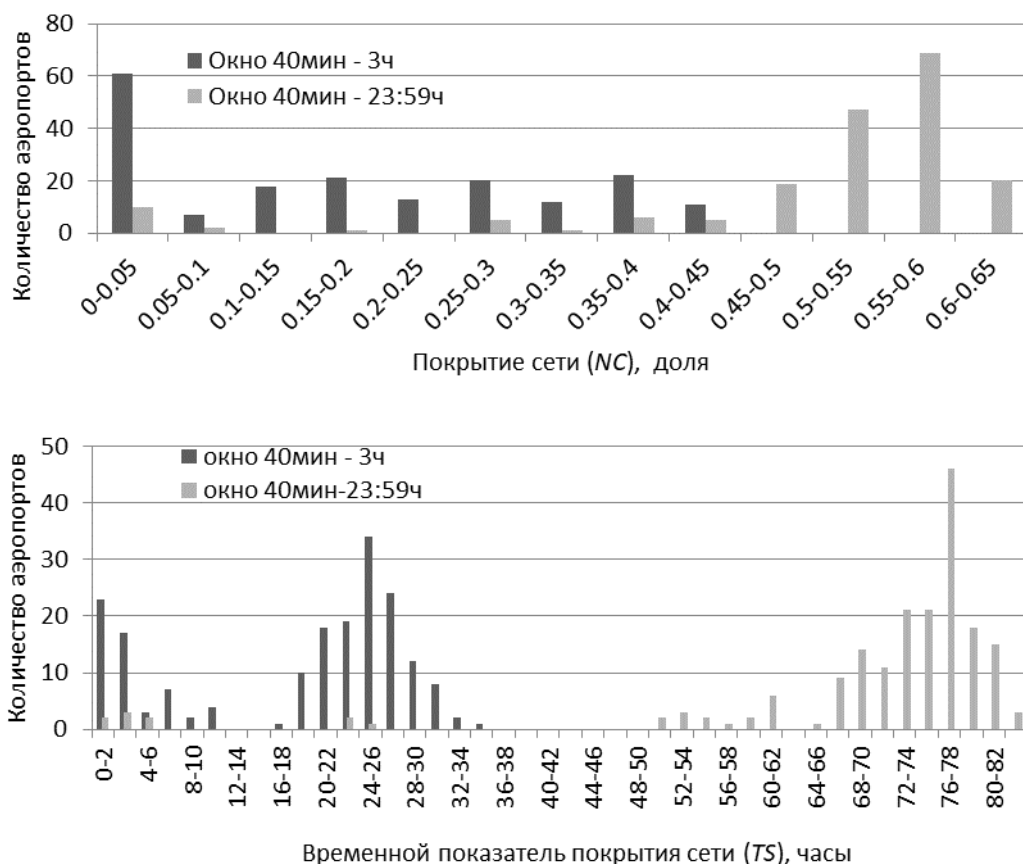


Рис. 6. Влияние продолжительности пересадочного окна на показатели транспортного стандарта

покрытия не достигла 100 процентов: максимальный результат составил 58% (аэропорт Толмачево). Таким образом, даже более чем двукратное увеличение количества рейсов (с 1972 до 4630) не приводит к качественному изменению положения дела со связностью АТС РФ.

Столь же неэффективным в смысле связи всех узлов АТС в единую сеть является изменение продолжительности пересадочного окна до 24 часов (Рис. 6).

Несмотря на рост зоны покрытия, такая верхняя граница пересадочного окна обесмысливает передвижение авиатранспортом как таковым: достигнутые значения минимального времени перелета становятся сопоставимыми по продолжительности с передвижением железнодорожным транспортом. При максимальной зоне покрытия в 63 процента, значение временного показателя для аэропорта Новый (Хабаровск) составит 75 часов.

Полученные результаты расчета показателей транспортной доступности АТС РФ за 2016 год в целом иллюстративно согласуются с результатами за более поздние периоды, а именно - авиатранспортная сеть РФ остается несвязанной. Говоря о динамике изменения оценки качества АТС РФ стоит выделить период пандемии Covid-19 (2020-2021 гг.) как экстремально низкий и не вписывающийся в общую аналитику за счет существенного сокращения рейсов, на число которых значительное влияние оказывали административные ограничения.

Заключение

Для повышения качества авиатранспортной системы РФ, ее эффективного управления и развития в работе предложена методика оценки авиатранспортной доступности, основанная на использовании связанных друг с другом индикаторов: зоны покрытия сети и временного показателя

покрытия сети. Разработан и реализован, в виде программного модуля, универсальный алгоритм расчетов соответствующих показателей, использующий в качестве входных данных расписание движения воздушных судов на конкретный период. Результат работы алгоритма демонстрируется на примере решения задачи оценки авиатранспортной доступности на сети РФ 2016 года. Проведен анализ полученных расчетов, в результате которого показано, что авиатранспортная сеть РФ является не связанной при приемлемом качестве оказания транспортной услуги. Лучшие показатели покрытия сети составляют 40-44% и достигаются всего 12 аэропортами при максимальных временных затратах 19-33 часов, что позволяет говорить о низком уровне авиатранспортной доступности. Рассмотрена чувствительность временного показателя и зоны покрытия сети от параметров качества транспортной услуги.

С учетом текущей геополитической ситуации и введенных санкций в отношении РФ, задача сохранения и поддержания авиатранспортной системы не только с точки зрения провозных мощностей, но и качества оказания транспортной услуги становится все более востребованной. В таких условиях предложенный в статье программный комплекс может быть использован не только для исследования ретроспективного и текущего состояния РФ, но и как инструмент моделирования оптимальной АТС.

Литература

1. Janic M. Air transport system analysis and modelling. – CRC Press, 2000. – 318 p.
2. Washington S. et al. Statistical and econometric methods for transportation data analysis. – Chapman and Hall/CRC, 2020. – 496 p.
3. Baron A. Air transport efficiency and its measures //Prace Instytutu Lotnictwa. – 2010. – №. 3 (205). – P.119-132.
4. Методическое пособие по статистике воздушного транспорта. URL: <https://www.tch.ru/ru-ru/Stc-and-statistics/Statistics/Documents/> (дата обращения: 16.01.2023).
5. Скипин Д.Л., Гущина А.С., Лобанова Э.В. Оценка эффективности выполнения авиаперевозок //Экономический анализ: теория и практика. – 2018. – Т. 17. – №. 3 (474). – С. 575-585.
6. Burghouwt G., Redondi R. Connectivity in air transport networks: an assessment of models and applications //Journal of Transport Economics and Policy (JTEP). – 2013. – Т. 47. – №. 1. – 35-53 pp.
7. Vasigh B., Fleming K., Tacker T. Introduction to air transport economics: from theory to applications. – Routledge, 2018. – 520 p.
8. Бардаль А.Б. Оценка качества транспортных услуг для населения //Современные социально-экономические процессы: проблемы, тенденции, перспективы. – 2020. – С. 12-17.
9. Горбунов В.П. Эволюция представлений о транспортной доступности //Бюллетень транспортной информации. – 2019. – №. 8. – С. 10-14.
10. Дубовик В.О. Методы оценки транспортной доступности территории //Региональные исследования. – 2013. – №. 4. – С. 11-18.
11. 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.
12. Журавская М. А. и др. Функционирование транспортно-логистических систем с учетом оценки экологических последствий //Инновационный транспорт. – 2015. – №. 4. – С. 31-37.
13. Flightpath 2050: Europe's vision for aviation: maintaining global leadership and serving society's needs. 2011. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/50266> (дата обращения: 16.01.2023).
14. C# Programming Guide. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/programming-guide/> (дата обращения: 16.01.2023).
15. Molinaro A. SQL Cookbook: Query Solutions and Techniques for Database Developers. – " O'Reilly Media, Inc.", 2005. – 636 p.
16. International Air Transport Association (IATA). IATA Global Passenger Survey. Geneva: IATA. – 2015. URL: <https://www.iata.org/en/publications/store/global-passenger-survey/> (дата обращения: 16.01.2023).
17. International Air Transport Association (IATA)// Minimum Connect Time (MCT) User Guide, URL: https://www.iata.org/contentassets/638f0938b3dd451b872a1d8357755421/minimum-connecting-time-user-guide_version-1.1.pdf (дата обращения: 16.01.2023).
18. Kennon P. et al. Guidebook for Preparing and Using Airport Design Day Flight Schedules. – 2016. – №. Project 03-32. – 154 p.
19. Kennon P. et al. Preparing Peak Period and Operational Profiles: Guidebook. – Transportation Research Board, 2013. – Т. 82. – 144 p.

Урюпин Илья Вадимович Федеральное государственное учреждение "Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" Российской академии наук" (ФИЦ ИУ РАН), Москва, Россия. Младший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук. Область научных интересов: Вычислительная математика, оптимальное управление, транспортные системы. E-mail: uryupin93@yandex.ru

Сухарев Алексей Александрович ООО «Межотраслевой аналитический центр», Москва, Россия. Заместитель генерального директора – руководитель авиационного направления. Область научных интересов: информационные системы, авиационные технологии, управление технологическим развитием. E-mail: alx.sukharev@gmail.com.

Власенко Андрей Олегович ООО «Межотраслевой аналитический центр», Москва, Россия. Старший научный сотрудник. Область научных интересов: математическое моделирование, транспортные системы. E-mail: andrey.vlasenko84@gmail.com.

Methodology for Assessing the Quality of the Passenger Air Transport System Russian Federation

I. V. Uryupin¹, A. A. Sukharev¹, A. O. Vlasenko¹

¹Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian

¹Intersectoral analytical center, Moscow, Russian

Abstract. Transportation systems including air transportation play one of the most important roles in the economic and social development of any country. The effectiveness of the quality of control of such complex systems can be assessed according to various criteria, from the cost of developing infrastructure to the degree of satisfaction of the population with transport. The problem of assessing the quality of the air transport system for a passenger is considered. The proposed methodology is based on a pair of interrelated indicators, the so called «transportation standard indexes». The algorithm for the calculation of those indicators has been created, which is based on the schedule of domestic commercial flights. The methodology is implemented into a software module, that has been used to calculate the values of introduced indexes for both historical and hypothetical air flight schedules inside the Russian air transportation system.

Keywords: air transport accessibility, mathematical modeling, transportation quality assessment, algorithm, software module.

DOI 10.14357/20718632230309

References

1. Janic M. 2000. Air transport system analysis and modelling. CRC Press. 318 p.
2. Washington S. et al. 2020. Statistical and econometric methods for transportation data analysis. Chapman and Hall/CRC. 496 p.
3. Baron A. 2010. Air transport efficiency and its measures. Prace Instytutu Lotnictwa. 3 (205):119-132.
4. Metodicheskoe posobie po statistike vozdušnogo transporta [Air Transport Statistics Toolkit]. Available at: <https://www.tch.ru/ru-ru/Stc-and-statistics/Statistics/Documents/> (accessed January 16, 2023).
5. Skipin D.L., Gushchina A.S., Lobanova E.V. 2018. Otsenka effektivnosti vypolneniya aviaperevozok [Evaluation of the efficiency of air transportation]. Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika [Economic Analysis: Theory and Practice]. 3:575-585.
6. Burghouwt G., Redondi R. 2013. Connectivity in air transport networks: an assessment of models and applications. Journal of Transport Economics and Policy (JTEP).1:35-53.
7. Vasigh B., Fleming K., Tacker T. 2018. Introduction to air transport economics: from theory to applications. Routledge. 520 p.
8. Bardal A.B. 2020. Otsenka kachestva transportnykh uslug dlya naseleniya [Assessment of the quality of transport services for the population]. Sovremennye sotsialno-ekonomicheskie protsessy: problemy, tendentsii, perspektivy [Modern socio-economic processes: problems, trends, prospects].12-17.
9. Gorbunov V.P. 2019. Evolyutsiya predstavleniy o transportnoy dostupnosti [Evolution of ideas about transport accessibility]. Byulleten transportnoy informatsii [Bulletin of transport information].8:10-14.
10. Dubovik V.O. 2013. Metody otsenki transportnoy dostupnosti territorii [Methods for assessing the transport accessibility of the territory]. Regionalnye issledovaniya [Regional studies]. 4:11-18.
11. Egoshin S. F., Smirnov A.V. 2018. Aviatransportnaya dostupnost i transportnaya diskriminatsiya naseleniya v subektakh Rossiyskoy Federatsii [Air transport accessibility and transport discrimination of the population in the constituent entities of the Russian Federation]. Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatsii [Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation]. 3:78-90.
12. Zhuravskaya M. A. i dr. 2015. Funktsionirovanie transportno-logisticheskikh sistem s uchetom otsenki

- ekologicheskikh posledstviy [Functioning of transport and logistics systems, taking into account the assessment of environmental consequences]. *Innovatsionnyy transport* [Innovative transport]. 4:31-37.
13. Flightpath 2050: Europe's vision for aviation: maintaining global leadership and serving society's needs. 2011. Available at: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/50266> (accessed January 16, 2023).
 14. C# Programming Guide. Available at: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/programming-guide/> (accessed January 16, 2023).
 15. Molinaro A. 2005. SQL Cookbook: Query Solutions and Techniques for Database Developers. – "O'Reilly Media, Inc.". 636 p.
 16. International Air Transport Association (IATA). IATA Global Passenger Survey. Geneva: IATA. 2015. Available at: <https://www.iata.org/en/publications/store/global-passenger-survey/> (accessed January 16, 2023).
 17. International Air Transport Association (IATA). Minimum Connect Time (MCT) User Guide, Available at: https://www.iata.org/contentassets/638f0938b3dd451b872a1d8357755421/minimum-connecting-time-user-guide_version-1.1.pdf (accessed January 16, 2023).
 18. Kennon P. et al. 2016. Guidebook for Preparing and Using Airport Design Day Flight Schedules. 154 p.
 19. Kennon P. et al. 2013. Preparing Peak Period and Operational Profiles: Guidebook. Transportation Research Board. 144 p.

Uryupin Ilya V. PhD, Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian, 44/2 Vavilova str., Moscow, 119333, Russia. E-mail: uryupin93@yandex.ru

Sukharev Alexey A. Intersectoral analytical center, 36/1 Bolshoy Afanasyevsky lane, Moscow, 119019, Russian. E-mail: alx.sukharev@gmail.com

Vlasenko Andrey O. Intersectoral analytical center, 36/1 Bolshoy Afanasyevsky lane, Moscow, 119019, Russian. E-mail: andrey.vlasenko84@gmail.com