



Онтология пассажирской авиации: метрика и закон развития

© 2025, Е.Б. Скворцов

Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» («ЦАГИ»),
Жуковский, Россия

Аннотация

Работа посвящена классификации основных показателей, характеризующих транспортную задачу пассажирского самолёта: перевозимой нагрузки, дальности полёта и потребной длины взлётно-посадочной полосы. Выполнено обобщение информации по указанным характеристикам пассажирских самолётов. Цель статьи – разработка метрики для рынка пассажирских самолётов. Выполнено обоснование построенной топологической модели воздушных перевозок между населёнными пунктами на земной поверхности и предложено восемь классов дальности перевозок и четыре категории транспортного ряда по пассажировместимости. Методами теории информации выделены восемь классов пассажировместимости воздушных судов в каждом транспортном ряде и определены их диапазоны. Установлена корреляция между классами пассажировместимости и дальности перевозок. Выявлены закономерности развития авиационного рынка, полезные для прогнозов и планирования. На основе математической модели рассмотрена классификация условий базирования пассажирской авиации. Получена шкала классов длины взлётно-посадочной полосы, близкая к принятой на практике. Предложен способ идентификации пассажирских самолётов в разработанной трёхмерной структуре классов, составлена метрика пассажирской авиации.

Ключевые слова: онтология, пассажирская авиация, математическая модель, метрика, закон развития.

Цитирование: Скворцов Е.Б. Онтология пассажирской авиации: метрика и закон развития. Онтология проектирования: 2025. Т.15, №2(56). С.174-186. DOI: 10.18287/2223-9537-2025-15-2-174-186.

Благодарности: автор выражает благодарность ведущему инженеру ЦАГИ С.В. Шелеховой за помощь в подготовке рукописи.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Данное исследование онтологии пассажирской авиации направлено на выявление её сути, а именно концептуальных основ реального объекта, в т.ч. его структуры и организации. В этой области известны различные структуры классификации пассажирской авиации [1], которые основаны на опыте и корпоративных представлениях о строении парка самолётов. Отсутствие единого метрологического стандарта вызывает необходимость в создании научно обоснованной метрики¹ пассажирской авиации. В настоящей работе с этой целью в рассмотрение включены основные показатели транспортной задачи, описывающие всё многообразие условий базирования, варианты полезной нагрузки и диапазоны дальности перевозок, которые можно представить математической моделью мировой авиации на основе статистических данных самолётов транспортной категории [2].

¹ См. например: Методика и порядок определения конкурентоспособных аналогов авиационной техники. Министерство экономики РФ (МЭ РФ). 1999; Методика оценки конкурентоспособности гражданских самолётов. 2002.

1 Топология перевозок и классификация расстояний

Для классификации транспорта по дальности перевозок необходимо установить, каков порядок распределения населённых пунктов на поверхности Земли с учётом суждений общего характера.

- Население по поверхности планеты распределено дискретно в населённых пунктах.
- Число больших городов значительно меньше, чем мелких поселков и деревень.
- Между крупными городами расстояние больше, чем между мелкими.
- Между населёнными пунктами происходят товарно-денежный обмен, перемещения людей и грузов.
- Инфраструктурную основу взаимодействия поселений составляют транспорт и связь.

В 1933 году В. Кристаллером была предложена теория «центральных мест» (ЦМ) в виде закона размещения населённых пунктов вокруг более крупного ЦМ [3]. Теория ЦМ основана на понятии идеализированной территории, т.н. изотропной поверхности обитания. Согласно этой модели, население размещено равномерно, транспортные издержки пропорциональны расстоянию и равноудалённые зоны сбыта любого товара представляются кругами. Место производства товара располагается в ЦМ, а все поселения, которые снабжаются из этого центра, являются «зависимыми» периферийными местами. Для построения модели размещения населённых пунктов был принят принцип экономии времени, сил и средств для достижения ЦМ населением из меньших населённых пунктов.

С увеличением издержек спрос на большинство товаров уменьшается, и поэтому с ростом расстояния спрос на любой товар в любом направлении будет уменьшаться до тех пор, пока не будет достигнуто геометрическое место точек, где на соответствующие товары и услуги не найдётся ни одного потребителя.

Теория ЦМ была дополнена в работах А. Лёша, который сформулировал теорию «экономического ландшафта» [4]. В модель распределения населённых пунктов был внесён ряд новых факторов (торговых, транспортных, административных), требующих учёта.

Описанная модель взаимного размещения иерархически соподчинённых населённых пунктов не является всеобщей. Практическая область её применения ограничена плоской шестиугольной топологией, что допустимо лишь для локальной системы поселений.

Энергосиловая модель Земли.

Современные исследователи геоморфологии считают, что Земля является энергетическим кристаллом, имеющим грани, узлы и связывающие их геоэнергетические линии, которые находятся под действием геофизических и космических процессов [5]. На кристаллическое строение Земли указывалось уже в древних источниках [6], изображавших структурно-энергетические модели Земли в виде икосаэдра и додекаэдра, где додекаэдр есть трёхмерная структура, состоящая из 12 правильных пятиугольников (рисунок 1). Исследователи этой модели показали, что в особые точки этого каркаса располагаются центры мировой религии и культуры, места с уникальной фауной и флорой, крупнейшие залежи полезных ископаемых. Наряду с глобальной сеткой были выявлены более мелкие структуры.



Рисунок 1 – Икосаэдро-додекаэдрический энергосиловой каркас Земли [5]

Классификация по дальности сообщений.

Пусть основу энергосиловой модели поверхности Земли составляет додекаэдр, геометрические пропорции которого подчиняются «золотому сечению» [7]. Коэффициентом пропорциональности является иррациональное число Фидия $\varphi \approx 1,618$ [8]. Другое свойство пентаграммы состоит в том, что она относится к фракталам, т.е. самоподобным формам.

Достаточно привести пример с пятиугольником на полусфере, внутри которого размещаются шесть подобных фигур (рисунок 2), линейные размеры которых отличаются в φ^2 раз. Отмеченные особенности описываются основным соотношением для числа Фидия: $\varphi^2 = 1 + \varphi$. При сравнении сферической и плоской фигур их линейные размеры совпадают, отличие наблюдается в величинах углов при вершинах.

В связи с принципом фрактальности для пентаграмм возможно многократное самоповторение, в котором роль центров изменяется в зависимости от их категории в глобальной иерархии. Такая категория может быть определена как логарифм расстояния по основанию φ .

Радиус описанной сферы Земли R_3 связан со стороной вписанного плоского пятиугольника додекаэдра a соотношением [9]: $R_3 = a/4 \cdot (1 + \sqrt{5}) \cdot \sqrt{3}$.

Отсюда для додекаэдра $a = 4546,76$ км, а его проекция на сферу – 4648 км. Используя принцип самоподобия, можно на этой основе построить последовательный ряд уровней дальности сообщения для различных категорий в иерархии ЦМ (рисунок 3), где: $r\{r_0, r_1, \dots, r_7\}$ является информационным кодом класса дальности сообщений, а степени числа φ ограничивают r – диапазоны дальности перевозок (таблица 1).

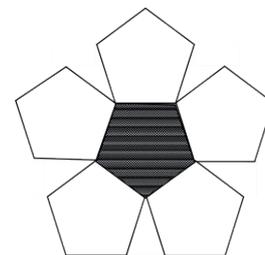


Рисунок 2 – Раскрой на плоскости правильного сферического пятиугольника

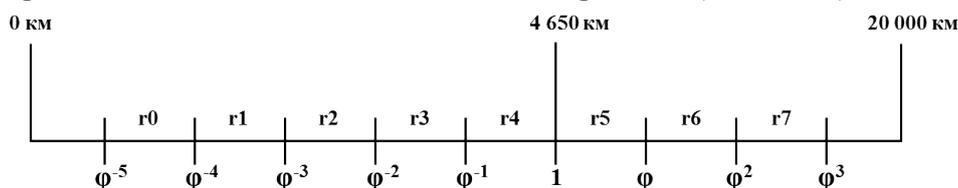


Рисунок 3 – Шкала относительных расстояний

Минимальный диапазон дальности перевозок в таблице 1 характерен для так называемой авиации общего назначения (АОН), которая подпадает под действие НЛГ-23 [10]. К этому типу относятся самолёты нормальной и многоцелевой категории со взлётной массой не более 5700 кг (не более 9 пассажиров), а также самолёты переходной категории массой не более 8600 кг (не более 19 пассажиров). Право на коммерческие перевозки самолёты этого типа получают при одновременном соблюдении НЛГ-25 [2]. Принятым для этой категории диапазоном являются дальности 420-680 км. Типичным представителем АОН является самолёт Ан-2, имеющий дальность полёта 420 км с максимальной нагрузкой 12 пассажиров (1500 кг) при базировании на взлётно-посадочной полосе (ВПП) длиной 600-700 м.

Ограничением справа является расстояние в половину экватора. В принятой математической модели эта величина составляет 19690 км, что на 1,7 % меньше действительной половины экватора. Это объясняется тем, что рассматривается сообщение с ЦМ, которое является небольшой по площади фигурой, а не точкой.

Таблица 1 – Классификация по дальности сообщений

Класс дальности перевозок	Диапазон дальности перевозок, км	
	Предложенная шкала	Методика МЭ РФ ¹ , 1999
Региональные:		
r0 – АОН	420 – 680	до 3000-4000
r1	680 – 1100	
r2	1100 – 1780	
r3	1780 – 2870	
r4	2870 – 4650	
Магистральные:		
r5	4650 – 7520	до 6000-7000 более 7000
r6	7520 – 12170	
r7	12170 – 19690	

В рассматриваемой классификации ключевой ($\varphi^0 = 1$) является дальность 4650 км, которая определяется моделью энергосилового додекаэдра Земли. Транспортные самолёты, обладающие дальностью полёта 4500-5000 км с максимальной нагрузкой, имеют возможность совершать кругосветные рейсы с посадками на сложившейся системе аэродромов.

2 Классификация пассажировместимости самолётов

В теории измерений и вычислений сложились определённые представления об экономических системах счисления, позволяющих с наименьшими затратами ресурсов производить измерения физических величин и выполнять логические операции [11].

2.1 Число классов пассажировместимости

Основание двоичной системы счисления одновременно является основанием модели планирования экспериментов. Пусть n – число независимых факторов влияния, которые по-разному сочетаются при проведении испытаний в поисках наилучшего сочетания, воплощённого в исследуемом объекте. Тогда общее множество предложенных вариантов составляет 2^n . На этом основано планирование опытов, в данном случае на рынке самолётов. В сбытовой модели оно приобретает смысл сравнения вариантов, число которых составляет ассортимент и гарантирует успешный выбор на основе представленной потребителю информации. Условием успешного решения является независимость повторных испытаний. Вероятность появления искомого события должна определяться в результате планирования опытов, определённых заранее. В таком плане и заключается смысл понятия «ассортимент».

В двоичной системе измерения ассортимента n – число независимых факторов, определяющих потребительские свойства самолёта на рынке, в т.ч. объём перевозок и условия базирования, представленные альтернативными значениями в каждом из восьми r -классов дальности перевозок. Если число потребительских факторов составляет $n = 2$, то количество классов пассажировместимости в числе возможных при $r = const$ составляет $2^n = 4$. Поэтому ассортимент пассажирских самолётов может быть представлен четырьмя классами пассажировместимости, которые могут быть предложены на рынок для выполнения перевозок в одном классе дальности.

2.2 О «ширине» класса пассажировместимости

Диапазон пассажировместимости характеризует единичный класс из ассортимента воздушных судов (ВС). Изготовление ВС в разное время разными производителями на основе разных технологий приводит к тому, что фактические данные проектов оказываются несовпадающими, но относительно близкими. Нужно знать, насколько эти данные могут отличаться, чтобы принадлежать одному классу.

Пользуясь системой счисления с основанием x , можно записать y чисел (от 0 до $y - 1$), для этого потребуется s цифровых знаков (по x цифр для каждого из s/x разрядов). Например, в десятичной системе счисления ($x = 10$) можно 1000 записать как $y = 10^3$, где показатель степени 3 – это число разрядов. Тогда число знаков, которые необходимы для записи всех чисел, составляет $s = x \times 3 = 30$.

Рациональной можно считать систему счисления с основанием x , которая обеспечит запись максимального множества чисел $y = x^{s/x}$ при известном числе знаков $s = const$. Экстремум такой системы определяется из условия $dy/dx = 0$. Решение этой задачи известно [11], а именно, оптимальной является величина $x = e$ (иррациональное число Непера 2,718...). Тогда максимальное число $y = (\sqrt[e]{e})^s$, а при $s = 1$ $y = 1,444 \dots$ Пользуясь аналогией с наиболее про-

дуктивной информационной системой, число $\sqrt[6]{e} = 1.444 \dots$ можно рассматривать как относительную «ширину» одного класса пассажировместимости. В периодической системе классов пассажировместимости она создаёт максимальную возможность размещения измеренных данных пассажирских самолётов на рынке.

На практике рассеяние фактических данных с близкими значениями пассажировместимости самолётов действительно укладывается в расчётный диапазон. Таким образом, теоретические и эмпирические основания позволяют определить верхние границы диапазона максимальной пассажировместимости для каждого класса в 1.444 раз выше нижней границы диапазона.

2.3 Статистический анализ пассажирской авиации

В предварительное рассмотрение включено около 150 самолётов, данные по которым приведены к единообразному виду:

- максимальное число пассажиров в экономическом классе;
- практическая дальность полёта с максимальной пассажировместимостью и стандартными резервами топлива;
- потребная длина искусственной ВПП в стандартных атмосферных условиях для полёта на максимальную дальность с максимальным числом пассажиров.

На рисунке 4 в логарифмическом масштабе представлены статистические данные в координатах «число пассажиров – дальность перевозок», которые моделируются четырьмя рядами «малой – умеренной – средней – большой» пассажировместимости в таблице 2. Видно, что возрастающие требования к дальности полёта приводят к логарифмически пропорциональному увеличению расчётной пассажировместимости.

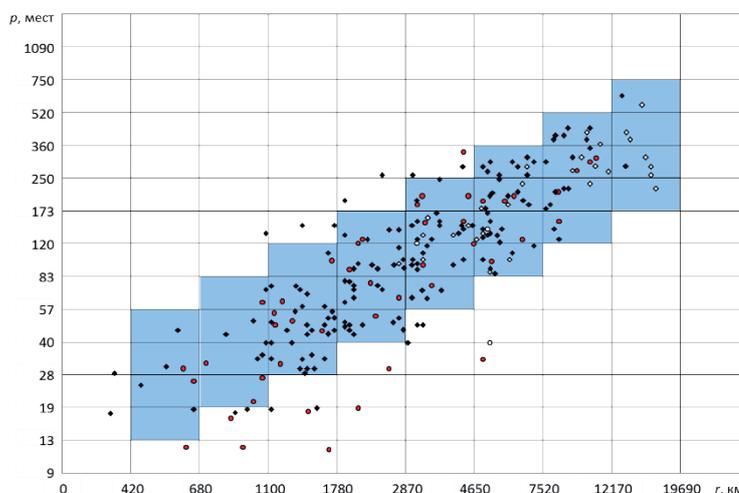


Рисунок 4 – Число пассажиров (p) и дальность перевозок (r)

Таблица 2 – Двухкоординатная P(r) структура рынка пассажирских самолетов (часть 1)

Класс дальности перевозок, км	r0	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7
	420-680	680-1100	1100-1780	1780-2870	2870-4650	4650-7520	7520-12170	12170-19690
Категория транспортного ряда:	Класс пассажировместимости, мест							
– P1. малый	13-19	19-28	28-40	40-57	57-83	83-120	120-173	173-250
– P2. умеренный	19-28	28-40	40-57	57-83	83-120	120-173	173-250	250-360
– P3. средний	28-40	40-57	57-83	83-120	120-173	173-250	250-360	360-520
– P4. большой	40-57	57-83	83-120	120-173	173-250	250-360	360-520	520-750

Основные элементы этой системы (без показателей базирования) для рынка пассажирских самолётов представлены двухкоординатной шкалой измерений, разделённой на отрезки-классы [12].

го ряда свидетельствует о её предопределённости и согласованности со структурой авиарынка в таблице 2.

Для того, чтобы несколькими классами ВС был проявлен малый ряд, потребовалось увеличение годового пассажирооборота в мире до 50 млрд. пасс.-км. Дальнейшее наполнение этого товарного ряда происходило в процессе последующего развития мирового рынка. В таблице 3 показаны уровни годового объёма рынка пассажирских перевозок, побуждающие авиастроение к созданию товарного ряда ВС соответствующей категории.

Таким образом, закономерность 2 показывает связь между спросом и предложением на рынках пассажирских авиаперевозок и поставок пассажирских самолётов.

Закономерность 3. Из рисунка 6 видна прямая связь между календарными сроками развития пассажирской авиации и логарифмическими показателями мощности (годового объёма) рынка пассажирских перевозок. Из этой связи можно сделать вывод о запрограммированном характере воздушных перевозок в условиях мирового экономического развития.

Формирование четырёх товарных рядов в основном завершилось в период с 1944 по 1980 год. В дальнейшем происходило их последовательное наполнение с обновлением и увеличением числа используемых в ряду классов. Этот процесс отмечен значительно меньшими темпами логарифмически линейного роста ежегодного пассажирооборота, чем в первый период развития.

Закономерность 4. Эволюция числа вновь возникающих классов как в отдельных рядах, так и в целом на рынке пассажирских самолётов (рисунок 7) свидетельствует об исчерпании экстенсивного пути развития мировой авиации в период до 2016 года. Возможный характер дальнейшего развития требует специального изучения.

Закономерность 4 свидетельствует о периодическом характере программы развития рынка воздушных перевозок. Программный период составил 72 года.

Принятая структура рынка пассажирских самолётов (таблица 1) и её связь с мощностью исследуемого рынка (рисунок 6) образуют инструменты для анализа рынка авиатехники и оценки возможных вариантов развития продуктовой политики авиапрома.

Таблица 3 – Корреляция рынка авиаперевозок и рынка поставок воздушных судов

Годовой объём рынка авиаперевозок, млрд. пасс.-км	Категория товарного ряда ВС
50	Малый ряд
130	Умеренный ряд
400	Средний ряд
1000	Большой ряд

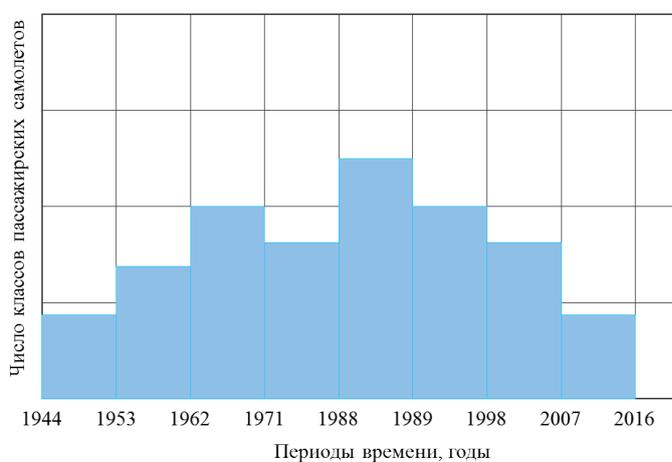


Рисунок 7 – Эволюция мирового рынка пассажирских авиаперевозок [13]

4 Классификация длины ВПП

Разнообразие факторов, описывающих условия базирования самолётов, включает многие характеристики, в т.ч. качество покрытия ВПП, уклон её поверхности, высоту аэродрома и т.д. В данном исследовании в рассмотрение включена потребная длина ВПП (d), которая

сравнивается с располагаемой длиной ВПП аэродромов, включённой в известные классификации.

Статистический анализ в прогнозах развития гражданской авиации обычно ограничивается планом $p(r)$. Однако эту функцию нельзя считать исчерпывающей, т.к. она не позволяет в явном виде представить связи с потребной длиной ВПП. Анализ фактических данных (рисунок 8) позволяет заключить, что между множеством данных по длине ВПП и дальностью перевозок существует корреляционная зависимость $d(r)$. Она показывает, что с увеличением требований к дальности сообщений в 10 раз действует общая тенденция к увеличению потребной длины ВПП примерно в 2 раза. В то же время относительно медианного значения этой логарифмически линейной функции существует значительное рассеяние. При одном значении дальности перевозки потребная длина ВПП может отличаться в 2 раза.

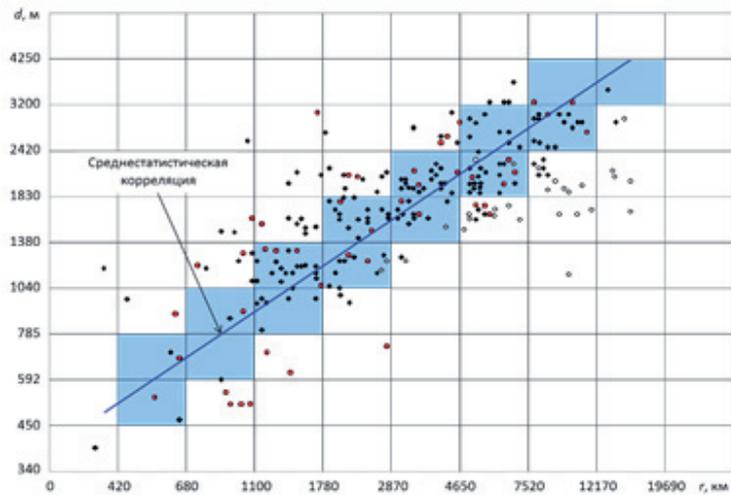


Рисунок 8 – Длина ВПП (d) и дальность перевозок (r)

Расчётная модель ВПП. Формирование модели классификации ВПП можно связывать со статистическими данными при условии, что переход от одного класса дальности к другому сопровождался изменением ВПП не меньше, чем на 1 класс. При этом каждому классу дальности полёта соответствует выбор не менее чем из двух классов ВПП. Выдвинутые условия должны быть выполнены при соблюдении среднестатистической корреляционной зависимости. Модель, полученная при учёте всех требований, представлена на рисунке 8. Корреляционный анализ показывает, что дискретное изменение класса ВПП вслед за изменением класса дальности перевозки должно сопровождаться изменением длины ВПП в 1,325 раз. Это соотношение называется «серебряным сечением» или числом Р. Падована [14], которое является решением уравнения: $\Psi^3 = 1 + \Psi$.

Это число, так же, как и число Фидия, является пределом для некоторой последовательности чисел, но сходящейся более медленно. Число Падована Ψ тоже упорядочивает геометрические величины, но в другом, а именно, неравностороннем пятиугольнике $ABCDE$ (рисунок 9а), стороны которого соотносятся как $1, \Psi, \Psi^2, \Psi^3, \Psi^4$. Такой «серебряный» пятиугольник, как и «золотая» пентаграмма является фрактальной фигурой. Он обладает свойством самоподобия в присутствии треугольного «гномона», который последовательно включается в исходную фигуру (рису-

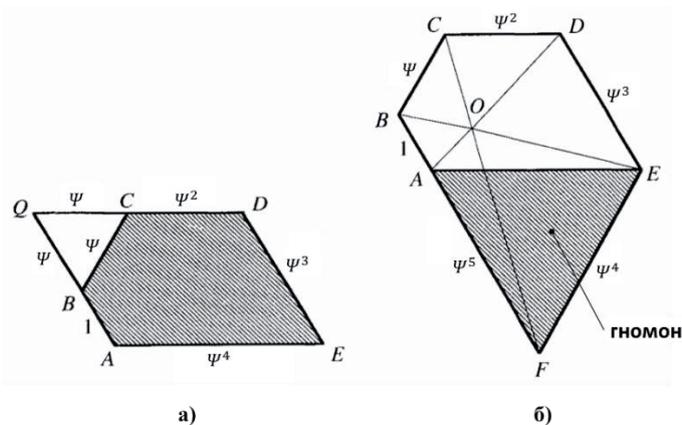


Рисунок 9 – Серебряный пятиугольник (а) и гномон серебряного пятиугольника (б)

нок 9б), чтобы возникли подобные фигуры другого масштаба [14].

Полученный ряд отражает классификацию длины ВПП (таблица 4), которая может быть рекомендована для практического применения. Основное отличие рекомендованной классификации от нормативной состоит в детальной градации класса Е [15].

В качестве базовой величины ВПП ($\psi^0 = 1$) принята граница классов С / D ИКАО (В / Г по АП-139), равная 1829 м в связи с наибольшей повторяемостью в различных классификациях, включая военные. Этот уровень с достаточной для практики точностью близок к одной морской миле (1852 м), которая определяется как дуга земного меридиана, заключённая в пределах одной угловой минуты.

В связи с линейной связью $d(r)$ классифицированной длины ВПП и дальности перевозок (рисунок 8), можно получить аэропортовый аналог двухкоординатной транспортной структуры $p(r)$, который станет второй частью метрики пассажирской авиации (таблица 5).

Таблица 4 – Рекомендуемая классификация ВПП с искусственным покрытием

АП-139 [15]		Рекомендуемая классификация		Шкала ЦМ относительной длины ВПП ^{*)}
Класс	Длина ВПП ^{*)} , м	Класс	Длина ВПП ^{*)} , м	
			4250	ψ^3
кл. А	3200	кл. А	3200	ψ^2
кл. Б	2600	кл. Б	2420	ψ^1
кл. В	1800	кл. В	1830	1
кл. Г	1300	кл. Г	1380	ψ^{-1}
кл. Д	1000	кл. Д	1040	ψ^{-2}
кл. Е	500	кл. Е2	785	ψ^{-3}
		кл. Е1	592	ψ^{-4}
		кл. Е0	450	ψ^{-5}

^{*)} Минимальная длина ВПП в стандартных условиях

Таблица 5 – Двухкоординатная $d(r)$ структура рынка пассажирских самолётов (часть 2)

Класс дальности перевозок, км	r_0 420- 680	r_1 680- 1100	r_2 1100- 1780	r_3 1780- 2870	r_4 2870- 4650	r_5 4650- 7520	r_6 7520- 12170	r_7 12170- 19690
Категория аэропортового ряда	Класс взлётно-посадочной полосы (ВПП), м							
– d_1 . Первый	E_1 592- 785	E_2 785- 1040	D 1040- 1380	Γ 1380- 1830	B 1830- 2420	B 2420- 3200	A 3200- 4250	
– d_2 . Второй	E_0 450- 592	E_1 592- 785	E_2 785- 1040	D 1040- 1380	Γ 1380- 1830	B 1830- 2420	B 2420- 3200	A 3200- 4250

Таблица 5 включает два смежных аэропортовых ряда, обозначенных как $d_1(r)$ и $d_2(r)$. Их особенность состоит в том, что при одном классе дальности перевозок второй ряд включает ВПП с длиной, сокращённой на один класс. Единственным фактором влияния, который вызвал потребность в выборе того или иного ряда является развитость/неразвитость сети аэродромов базирования, зависящая от уровня социально-экономического развития и почвенно-климатических условий связанных населённых пунктов. В частности, большая терри-

тория с разнообразными условиями может иметь разные классы аэропортов прилёта и вылета на одной линии перевозок.

Пассажирские самолёты создаются для применения на ВПП либо одного класса, либо на меньшем из двух возможных в условиях эксплуатации. Например, самолёты Ту-134 и Як-42, относящиеся примерно к одному классу пассажироместимости (83-120 мест), рассчитаны на разную длину ВПП – соответственно 2500 м и 1800 м из двух смежных аэропортовых рядов $d_1(r4)$ и $d_2(r4)$. При этом известно, что Як-42 рассчитан на расширенные условия базирования, обеспечивающие доступность небольших населённых пунктов.

5 Идентификация класса воздушных судов

Итог построения системы измерения пассажирской авиации во всём её разнообразии состоит в том, что два аэропортовых ряда $d(r)$ в таблице 5 дополняют четыре транспортных ряда $p(r)$ в таблице 2. Общее поле их классификации в трёхкоординатной системе, описывающей транспортные возможности ВС, насчитывает 60 вариантов.

Для выделения одного идентификатора ВС в представленной системе измерения необходимо определить три категории – класс дальности перевозок r , транспортный ряд $p(r)$ и аэропортовый ряд $d(r)$. Результатом будут диапазоны соответствующих значений дальности перевозок, пассажироместимости и потребной длины ВПП. Например, $r4[2870, 4650]$ км, $p2[83, 120]$ мест, $d1[1830, 2420]$ м. Применение последовательности $r4, p2, d1$ в обозначении общего идентификатора позволило бы сократить запись трёхмерного класса пассажирского самолёта до минимума. В предложенной классификации пассажирских самолётов использовались математические ряды, основанные на геометрической прогрессии. Выбор такой номенклатуры показателей отвечает требованиям к параметрической стандартизации [16, 17]. Этот способ не является единственно возможным. Не исключено образование общего идентификатора пассажирских самолётов с указанием не на ряды $p(r)$ и $d(r)$, а непосредственно на отдельные классы дальности перевозок, пассажироместимости и длины ВПП.

Заключение

В работе показана возможность классификации и измерения рынка пассажирских самолётов транспортной категории по дальности перевозок, полезной нагрузке и длине ВПП. Её основу составила математическая модель, описывающая основные связи между транспортными характеристиками. Онтологическая модель представляет собой дискретные линейные зависимости информационных кодов, которыми являются логарифмы указанных физических величин. Предложен способ идентификации класса самолётов.

Для формализованного описания топологии перевозок определены и классифицированы возможные типы сообщений, связывающих населённые пункты на расстояниях, пропорциональных степени числа 1,618 (число Фидия).

Показано, что диапазон пассажироместимости, соответствующий одному классу самолётов, должен иметь ширину, пропорциональную $\sqrt[6]{e} \approx 1,444$ (здесь e – число Непера). В этом диапазоне могут быть представлены самолёты одного назначения с близкими, но несовпадающими характеристиками.

Показано, что изменение класса аэродромов вслед за изменением класса дальности перевозок должно сопровождаться изменением длины ВПП в 1,325 раз (число Падована). Полученная модель длины ВПП близка к нормативной классификации.

На основе выявленных зависимостей составлена метрика пассажирской авиации, которая включает 60 классов самолётов на основе сочетаний восьми r диапазонов дальности перевозок.

зок, четырёх $p(r)$ транспортных рядов пассажировместимости и двух $d(r)$ аэропортовых рядов длины ВПП.

Применение классификации транспортных характеристик ВС позволило выявить ряд закономерностей развития авиарынка. На их основе стало возможным решение практических задач [13]. Предложенная модель измерения авиарынка может быть рекомендована в качестве метрологической основы при планировании, управлении в авиационной отрасли и для определения самолётов-аналогов.

Список источников

- [1] **Коноплева В.М., Лесничий И.В., Самойлов И.А., Скворцов Е.Б., Шелехова С.В.** О классификации воздушных судов на рынке пассажирских самолетов. *Техника воздушного флота*. 2019. №1. С.35-41.
- [2] Нормы летной годности самолетов транспортной категории. НЛГ-25. Федеральное агентство воздушного транспорта. 2023. 379 с.
- [3] **Christaller Walter.** Die zentralen Orte in Süddeutschland. Jena: Gustav Fischer. 1933. 331 p.
- [4] **Шупер В.** Август Леш признанный, но забытый гений. *Знание – сила*. 2007. №2(956). С.53-57.
- [5] **Лачугин К.А.** Земля – большой кристалл? М: «Захаров», 2005. 224 с.
- [6] **Волошинов А.В.** Пифагор: союз истины, добра и красоты. М: «Просвещение», 1993. 224 с.
- [7] **Ливио Марио.** Число Бога. Золотое сечение – формула мироздания. М: «АСТ», 2015. 425 с.
- [8] **Стахов А.П.** Коды золотой пропорции. М: «Радио и связь». 1984. 152 с.
- [9] **Рывкин А.А., Рывкин А.З., Хренов Л.С.** Справочник по математике, М: Высшая школа, 1970, 556 с.
- [10] Нормы летной годности гражданских легких самолетов. НЛГ-23, 2023, 236 с.
- [11] **Фомин С.В.** Система Счисления. М: «Наука», 1980. 48 с.
- [12] **Скворцов Е.Б., Коноплева В.М., Шелехова А.С., Шелехова С.В.** Законы авиационного рынка и управление развитием авиационного рынка / XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019: Сб. науч. тр. М: ИПУ РАН, 2019. С.2272-2279.
- [13] **Скворцов Е.Б., Шелехова С.В., Самойлов И.А., Лесничий И.В.** Измерение авиарынка и планирование поставок пассажирских самолётов. *Полёт*. 2022. №5. С.3-13.
- [14] **Газале М.** Гномон. От фараонов до фракталов // Пер. с англ. Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2002. 272 с.
- [15] Авиационные правила. Часть 139. Сертификационные требования к аэродромам. АП-139, 1996, 85 с.
- [16] **Сигов А.С., Нефедов В.И., Битюгов В.К., Самохина Е.В.** Метрология, стандартизация и сертификация. – М.: «Форум», 2012. 33 с.
- [17] **Берновский Ю.Н.** Основы идентификации продукции и документов. М.: «ЮНИТИ-ДАНА». 2007. 351 с.

Сведения об авторе

Скворцов Евгений Борисович, 1947 г. рождения. Окончил Московский авиационный институт им. С. Орджоникидзе (МАИ) в 1971 г., к.т.н. (1993). Начальник научно-исследовательского отдела ЦАГИ. В списке научных трудов около 80 работ, включая 8 патентов на изобретения. Область научных интересов – исследование перспектив развития авиационной техники, разработка технических концепций и новых технологий создания летательных аппаратов. skvortsov-tsagi@yandex.ru.



Поступила в редакцию 13.12.2024, после рецензирования 05.03.2025. Принята к публикации 13.03.2025.



Ontology of passenger aviation: metric and law of development

© 2025, E.B. Skvortsov

Central Aerohydrodynamic Institute named after prof. N.E. Zhukovsky (TsAGI), Zhukovsky, Russia

Abstract

This paper focuses on the classification of key indicators characterizing the transport capabilities of a passenger aircraft, including the transported load, flight range, and required runway length. The specified characteristics of passenger aircraft are summarized. The purpose of the article is to develop a metric for the passenger aircraft market. The paper provides a rationale for the constructed topological model of air transportation between populated areas on the Earth's surface and introduces eight classes of transportation range along with four categories of a transport row based on passenger capacity. Using the methods of information theory, eight classes of aircraft passenger capacity are identified within each transport row, and their corresponding ranges are determined. A correlation between passenger capacity classes and transportation range is established. The study reveals aviation market development patterns useful for forecasting and planning. Based on a mathematical model, the classification of passenger aviation basing conditions is examined, resulting in a runway length classification scale that closely aligns with practical standards. A method for identifying passenger aircraft in the developed three-dimensional class structure is proposed, and a metric for passenger aviation is compiled.

Keywords: *ontology, passenger aviation, mathematical model, metric, law of development.*

For citation: Skvortsov EB. Ontology of passenger aviation: metric and law of development [In Russian]. *Ontology of designing*. 2025; 15(2): 174-186. DOI: 10.18287/2223-9537-2025-15-2-174-186.

Acknowledgment: the author expresses their gratitude to the leading engineer of TsAGI S.V. Shelekhova for her help in preparing the article.

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures and tables

- Figure 1 – Icosahedron-dodecahedral energy-power frame of the Earth [5]
- Figure 2 – Cutting a regular spherical pentagon on the plane
- Figure 3 – Relative distance scale
- Figure 4 – Number of passengers (p) and transportation range (r)
- Figure 5 – Moderate transport range and assortment of aircraft on the world market 1954-1962
- Figure 6 – Annual passenger turnover of the global air transportation market [13]
- Figure 7 – Evolution of the global passenger air transportation market [13]
- Figure 8 – Runway length (d) and transportation range (r)
- Figure 9 – The silver pentagon (a) and the gnomon of the silver pentagon (b)
- Table 1 – Classification by flight range
- Table 2 – Two-coordinate $P(r)$ structure of the passenger aircraft market (Part 1)
- Table 3 – Correlation of the air transportation market and the aircraft supply market
- Table 4 – Recommended classification of artificial turf runways
- Table 5 – Two-coordinate $d(r)$ structure of the passenger aircraft market (Part 2)

References

- [1] **Konopleva VM, Lesnichy IV, Samoilov IA, Skvortsov EB, Shelekhova SV.** On the aircraft classification in the passenger aircraft market [In Russian]. *Air fleet technology*. 2019; 1: 35-41.
- [2] Airworthiness standards for transport category aircraft [In Russian]. NLG-25. 2023. 379 p.
- [3] **Christaller Walter.** The Central Asian Region in South Germany. Jena: Gustav Fischer. 1933. 331 p.
- [4] **Shuper V.** August Lesch: a recognized but forgotten genius [In Russian]. *Knowledge is power*. 2007; 2(956): 53-57.
- [5] **Lachugin KA.** Is Earth a Big Crystal? [In Russian]. Moscow: "Zakharov", 2005. 224 p.

- [6] **Voloshinov AV.** Pythagoras: Union of Truth, Goodness and Beauty [In Russian]. Moscow: "Prosveshchenie", 1993. 224 p.
 - [7] **Livio Mario.** The Number of God. The Golden Section: the Formula of the Universe [In Russian]. Moscow: "AST", 2015. 425 p.
 - [8] **Stakhov AP.** Codes of the golden ratio [In Russian]. Moscow: "Radio and communication". 1984. 152 p.
 - [9] **Ryvkin AA, Ryvkin AZ, Khrenov LS.** Handbook of mathematics [In Russian]. Moscow: Higher school, 1970. 556 p.
 - [10] Airworthiness standards for civil light aircraft [In Russian]. NLG-23, 2023. 236 p.
 - [11] **Fomin SV.** Number system [In Russian]. Moscow: "Science", 1980. 48 p.
 - [12] **Skvortsov EB, Konopleva VM, Shelekhova AS, Shelekhova SV.** Laws of the aviation market and management of aircraft industry development [In Russian]. XIII All-Russian Conference on Management Problems VSPU-2019: Coll. sci. tr. [Electronic resource]. Moscow: IPU RAS, 2019. P.2272-2279.
 - [13] **Skvortsov EB, Shelekhova SV, Samoilo IA, Lesnichy IV.** Measuring the aviation market and planning passenger aircraft deliveries [In Russian]. *Flight*. 2022; 5: 3 13.
 - [14] **Gazale M.** Gnomon. From pharaohs to fractals [In Russian]. Translated from English. Moscow - Izhevsk: Institute of Computer Research. 2002. 272 p.
 - [15] Aviation regulations. Part 139. Certification requirements for aerodromes. AP-139, 1996, 85 p.
 - [16] **Sigov AS, Nefedov VI, Bityugov VK, Samokhina EV.** Metrology, standardization and certification [In Russian]. Moscow: "Forum", 2012. 33 p.
 - [17] **Bernovsky YuN.** Fundamentals of product and document identification [In Russian]. Moscow: "UNITY-DANA". 2007. 351 p.
-

About the author

Evgeniy Borisovich Skvortsov (b. 1947) graduated from the Ordzhonikidze Moscow Aviation Institute (MAI) in 1971, Ph.D. (1993). Head of the Research Department at FAU "TsAGI". The list of scientific papers consists of about 80 works, including 8 patents for inventions. The scientific interests include the study of the prospects for aviation technology development, as well as the development of technical concepts and new technologies for aircraft design. skvortsov-tsagi@yandex.ru.

Received December 13, 2024, Revised March 05, 2025. Accepted March 13, 2025.
