

ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ САМОЛЕТА ПОВЫШЕННОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ И ДАЛЬНОСТИ ПОЛЁТА

Бекиров Р.Б., Стрелец Д.Ю., Шкурин М.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)»,

Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

romabekirov2000@gmail.com

Аннотация: Произошедший за семнадцать лет почти шестикратный рост грузовых авиаперевозок, их тенденции и будущие законы по требованиям к выбросам и шуму позволяют создать современный грузовой самолет повышенной дальности и грузоподъемности. В этой работе предлагается рассмотреть особенности проектирования такого самолета, сформировать к нему требования.

Ключевые слова: требования, проектирование самолётов, дальнемагистральный транспортный самолет, сегмент рынка, удельные затраты.

Введение

К настоящему моменту был сформирован оптимальный облик современного магистрального пассажирского самолета – низкоплан нормальной схемы с обычным оперением и парой ТРДД. Такой самолет может везти неплотные грузы в своем грузовом отсеке, в дополнение к багажу (belly cargo).

Грузовые авиаперевозки также неуклонно растут. С развитием технического прогресса появляется возможность создать постоянную сеть рейсов грузовых авиаперевозок, по которой будут перевозиться плотные и крупногабаритные грузы [1].

Грузовой самолет – это вид гражданского самолета, предназначенный для проведения авиагрузоперевозок, а именно для перевозки грузов и почты. Грузы могут быть неплотными (почта), плотными и крупногабаритными [2]. Все современные проекты грузовых самолетов являются модификациями пассажирских проектов. Эти самолеты могут выполнять роли перевозки почты и грузов, совмещать грузовые и пассажирские перевозки, быстро конвертироваться из пассажирского в грузовой. При изменении конфигурации грузового самолета из пассажирского, пассажирской салон конвертируется в грузовой [3].

Грузовой самолет является частью грузового авиационного комплекса, состоящего из самого самолета, технических средств инженерно-авиационного обеспечения, средств наземных систем управления и технических средств аэродромно-технического обеспечения. Этот комплекс входит в авиакомпанию, которая представляет собой сложную систему. Авиакомпании бывают строго пассажирскими, грузовыми (примером может служить UPS) и смешанного типа (Lufthansa). Последний вид в наше время наиболее широко представлен.

Современные грузовые модификации пассажирских самолетов своим фюзеляжем, рассчитанным в первую очередь на пассажирские перевозки, ограничивают грузовые авиаперевозки как в объеме, так и в плотности грузов. В их недостатки входит недостаточная прочность пола, сечение фюзеляжа, которое не позволяет максимально использовать внутренний объем, отсутствие достаточного количества грузовых дверей необходимого размера.

1 Постановка задачи

В данной работе ставится задача выработки требований к грузовому самолету повышенной грузоподъемности и дальности. Таким является самолет, способный перевезти свыше 100 тонн полезной нагрузки на расстояние от свыше 8000 км.

В данной работе предлагается рассмотреть проект дальнемагистрального грузового самолета с учётом принципов весового проектирования [4]. Такой проект может иметь целый ряд преимуществ: повышенная прочность пола, сечение фюзеляжа, которое позволяет максимально использовать внутренний объем для грузов, большее количество грузовых дверей большого размера, в том числе и носовую с доступом к обеим грузовым палубам. Схема высокоплана позволяет уменьшить интерференцию крыла и фюзеляжа, размер шасси (а также добавить возможность изменять угол наклона фюзеляжа для облегчения погрузочно-разгрузочных работ через изменение клиренса), создать сплошную по длине нижнюю грузовую палубу увеличить массовую отдачу. Наконец, система кондиционирования специально построенного грузового самолета будет меньше в размерах, отбирать меньше воздуха от двигателей.

Другим путем развития является дальнейшее использование грузовых самолетов, созданных на базе пассажирских. Они имеют целый ряд экономических преимуществ, в лице уже спроектированных, производимых и сертифицированных систем и агрегатов. Это уменьшает денежные, человеческие, временные и ресурсные затраты.

2 Метод решения

Анализ будет состоять из трех частей: оценки тенденций мировых грузовых авиаперевозок, оценки мирового парка грузовых самолетов и выработки требований к грузовому самолету повышенной дальности и грузоподъемности следующего поколения.

2.1 Тенденции грузовых перевозок

Согласно IATA в 2021 году авиацией было перевезено товаров на сумму свыше 6 триллионов долларов. Это составляет 35% от совокупной стоимости всех перевезенных товаров в 2021 году, а коэффициент загрузки составил 53.8% (231342 миллионов тонно-километров из 430016). 53% этих перевозок происходит в виде дополнительного багажа у пассажирских самолетов (belly cargo). Крупнейшим грузоперевозчиком стала Federal Express, объемы мировых грузовых авиаперевозок составили 128.8\$ миллиардов, то есть около 34% общей выручки всех мировых авиакомпаний.

2.1.1 ВВП и грузовые тонно-километры

Связь между ВВП и объемом грузовых авиаперевозок наглядна может быть продемонстрирована анализом 2019, 2020 и 2021 годов.

В 2019 году мировые грузовые авиаперевозки упали на 3.2% из-за экономической нестабильности. А в 2020 году падение продолжилось из-за неготовности мировой медицины, нехватки belly cargo, падения мирового спроса. Летом начался обратный процесс.

Рост грузовых авиаперевозок начался в 2021 году, увеличившись на 7.9% в сравнении с 2019 годом, на 5% в сравнении с 2018. Если в 2021 году грузовые авиаперевозки обогнали ВВП по падению, то в 2021 по росту, что характерно для экономического восстановления.

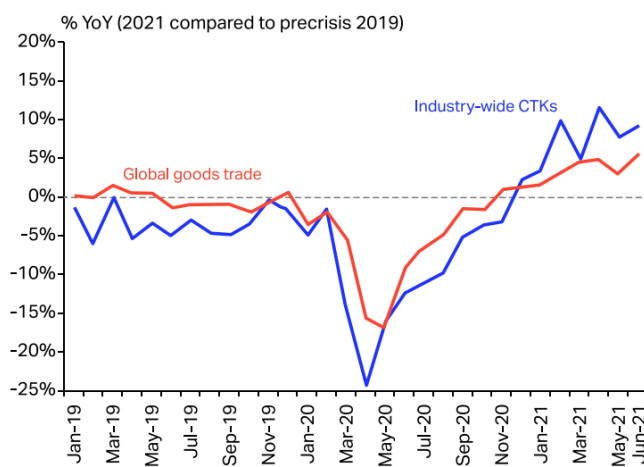


Рис. 1. Грузовые перевозки и ВВП 2019–2021

2.1.2 Грузовые тонно-километры и доступные грузовые тонно-километры год к году

На сегодняшний день мировой АСТК уверенно растет, однако за первое полугодие этот показатель все равно был ниже на 12.4%, чем в 2019 году. Нехватка международных пассажирских рейсов ограничивает совокупную грузовую способность грузовых авиаперевозок, так как дополнительное грузовое пространство составляло до 60% от совокупной. При этом авиакомпании научились использовать свои пассажирские самолеты без какой-либо конверсии в лице грузовых. Так, только за первое полугодие 2021 года количество грузовых самолетов увеличилось на 12%, в сравнении с 2019, главным образом за счет именно такого использования пассажирских самолетов.

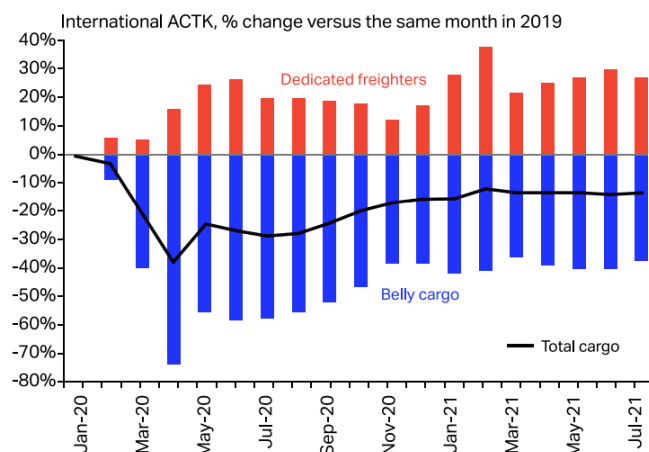


Рис. 2. Сравнение АСТК по времени с 2019 с делением на основные и дополнительные грузы

Результаты за 2021 год:

- СТК увеличился на 7.9%
- АСТК упал на 12.4%
- Размер глобального грузового флота увеличился на 12%
- Рост грузовых перевозок 13%
- Прибыль в 2020 году 128.8\$ миллиардов

Из указанного выше 12%-го увеличения парка грузовых самолетов в 2021 году 3% составил рост специализированного грузового парка более чем на 3%. Это связано с резким ростом электронной коммерции, онлайн-шопинга в частности. Нехватка belly cargo заставила перевозчиков, производителей, лизингодателей, инженерные компании по ROM и OEM начать как ряд программ по созданию новых грузовых самолетов (A350F B777-8F), так и начать проводить конвертации самолетов в грузовые по типу Quick Change, Combi, Passenger-to-Freighter, Special freighter и узкофюзеляжных, и широкофюзеляжных самолетов, иногда прямо в процессе производства и испытаний. В итоге произошло рекордное количество конверсий.

2.1.3 Грузовые тарифы и доходы

Если в 2019 году тарифы и доходы от грузовых авиаперевозок упали из-за торговых войн, то уже в 2020 году:

1. постоянная нехватка вместимости
2. устойчивый спрос на товары (особенно во второй половине года)
3. разрушенные сухопутные и морские логистические цепочки
4. перегруженность цепочек в звеньях до и после аэропортов
5. гарантированная занятость части существующей вместимости средствами индивидуальной защиты (СИЗ) и медикаментами

оказали значительное влияние на ставки грузовых авиаперевозок.

По сути, произошел резкий рост, который к концу года привел к росту ставок грузовых авиаперевозок в 2020 году в целом выросли на 55.9% (в сравнении с 2019 годом), составив 2.79\$/кг. На фоне снижения перевозок на доходы от грузовых авиаперевозок выросли на 27.2% в 2020 году до уровня 128.8\$ в жестких денежных показателях. Это новый рекорд больших масштабов, который очень сильно помог авиакомпаниям.

2.1.4 Региональный спрос на грузоперевозки и мировой коэффициент загрузки грузоперевозок

Между региональными сегментами рынка было множество различий в величинах грузовых авиаперевозок. Большие фискальные и налоговые стимулы в США повысили спрос на товары из Азии, из-за чего позволило СТК перевозчиков из Северной Америки увеличиться на 4.5% за год. С обратной же стороны маршрута такого внутреннего роста не видно из-за в целом слабого внутреннего воздушного трафика.

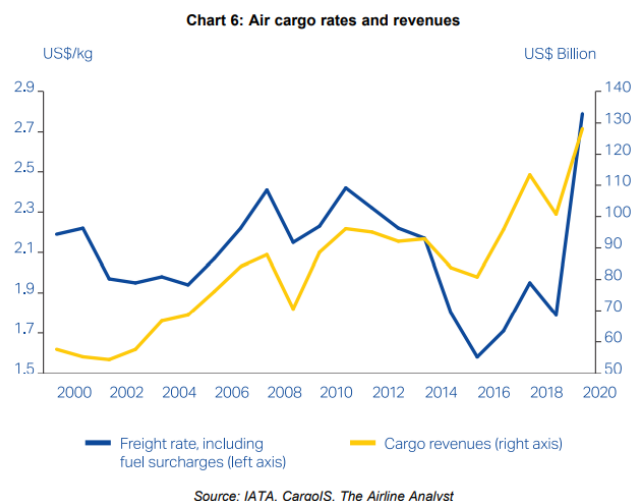


Рис. 3. Тарифы грузовых авиаперевозок и прибыли с них по годам

Отсутствие свободного места на широкофюзеляжных пассажирских самолетах означало, что совокупная грузоподъемность была недостаточной для удовлетворения быстрого растущего спроса. Это привело к тому, что коэффициент загрузки перевозок вырос на 7.1% до 53.9%.

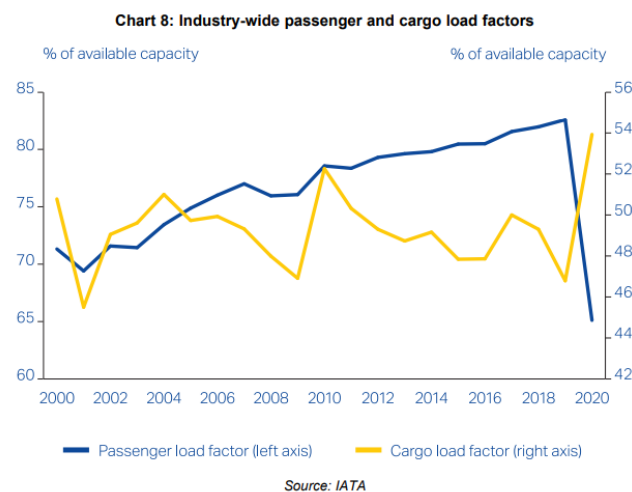


Рис. 4. Достигнутые перевозчиками коэффициенты загрузки

Domestic	Russian Federation	
	Number	% Change
Passengers Carried (thousands)	54,671	-22.9
Cargo Tonnes Carried (thousands)	234	-0.2
Revenue Passenger-Kilometres (millions)	102,216	-21.6
Available Seat-Kilometres (millions)	135,805	-13.5
Passenger Load Factor	75.3%	-7.8
Cargo Tonne-Kilometres (millions)	806	2.6
Available Cargo Tonne Kilometres (millions)	2,947	-10.6
Cargo Load Factor	27.4%	3.5
Revenue Tonne-Kilometres (millions)	10,349	-20.0
Available Tonne-Kilometres (millions)	15,668	-12.7
Weight Load Factor	66.1%	-6.0

Рис. 5. Перевозки пассажиров и грузов в РФ

Мировые грузоперевозки и российский рынок. Заметно, что российский рынок грузовых авиаперевозок увеличил фактические перевозки и загрузенность, но общая грузовая вместимость упала вместе с пассажирскими перевозками.

2.1.5 Безубыточный и достигнутый CLF

Несмотря на то, что авиакомпании смогли несколько сократить расходы в 2020 году, удельные затраты авиакомпаний только увеличивались из-за крайне высоких темпов сокращения перевозок. Из-за этого мировой коэффициент безубыточности загрузки грузоперевозок в 2020 году достиг 76.3% АСТК, в то время как аналогичный показатель составлял с 66.4% в 2019 году. Поэтому впервые с 2008 года авиакомпании не заработали прибыли.

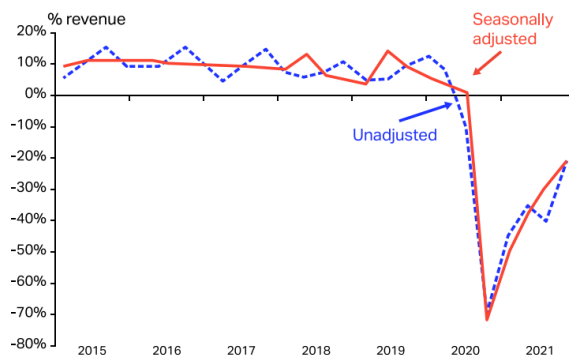


Рис. 6. Прибыли авиакомпаний по годам, с учетом сезонности

2.1.6 Доходы авиакомпаний и доходность на вложенный капитал

Резкое падение в 2020 доходов на 56% и операционной маржи на 28% в сравнении с 2019 годом. При этом падение доходности на вложенный капитал (ROIC) составила 18,3%. Всего же гражданская авиация в совокупности потеряла в 2020 году 137.7\$ млрд, а в 2021 51.8\$ млрд. Однако уже в 2022 году чистый убыток должен составить всего 11.6\$ млрд, а возврат к 26\$ млрд прибыли 2019 года возможен через несколько лет.

2.1.7 Ведущие 25 грузовых авиакомпаний

В 2004 году вся мировая гражданская авиация по данным IATA перевезла чуть более 40 миллионов СТК, в то время как один только Federal Express в 2021 году перевез 19.656 миллионов СТК. Все это говорит о стремительном росте грузовых авиаперевозок.

International			Domestic			Total		
Airline	Millions	Rank	Airline	Millions	Rank	Airline	Millions	Rank
Qatar Airways	13,740	1	Federal Express	9,390	1	Federal Express	19,656	1
Federal Express	10,266	2	United Parcel Service	7,353	2	United Parcel Service	14,371	2
Emirates	9,569	3	Air Transport International ⁽²⁾⁽⁴⁾	1,374	3	Qatar Airways	13,740	3
Cathay Pacific Airways	8,137	4	Atlas Air ⁽⁴⁾	1,084	4	Emirates	9,569	4
Korean Air	6,091	5	China Southern Airlines	990	5	Cathay Pacific Airways	6,137	5
Cargolux	7,345	6	Kalitta Air ⁽²⁾⁽⁴⁾	990	6	Korean Air	8,104	6
United Parcel Service	7,017	7	SF Airlines	934	7	Cargolux	7,345	7
Turkish Airlines	6,958	8	Air China	838	8	Turkish Airlines	6,977	8
China Airlines	6,317	9	United Airlines	687	9	China Southern Airlines	6,591	9
China Southern Airlines	5,595	10	China Eastern Airlines	679	10	China Airlines	6,317	10
Air China	5,283	11	ABX Air ⁽²⁾	491	11	Air China	6,121	11
AerLogic ⁽¹⁾	4,870	12	Shenzhen Airlines	469	12	Atlas Air ⁽⁴⁾	5,458	12
Lufthansa ⁽⁴⁾	4,827	13	CargoJet	439	13	Kalitta Air ⁽²⁾⁽⁴⁾	5,211	13
AirBridgeCargo Airlines	4,609	14	Hainan Airlines ⁽¹⁾	341	14	AerLogic ⁽¹⁾	4,870	14
Atlas Air ⁽⁴⁾	4,374	15	Delta Air Lines	339	15	Lufthansa ⁽⁴⁾	4,828	15
Kalitta Air ⁽²⁾⁽⁴⁾	4,221	16	Aeroflot Russian Airlines	304	16	AirBridgeCargo Airlines	4,609	16
Singapore Airlines	4,156	17	American Airlines	300	17	Singapore Airlines	4,156	17
EVA Air	3,888	18	Xiamen Airlines	285	18	United Airlines	3,950	18
Asiana Airlines	3,580	19	Sichuan Airlines ⁽¹⁾	263	19	EVA Air	3,888	19
Polar Air Cargo ⁽⁴⁾	3,438	20	All Nippon Airways ⁽⁴⁾	283	20	Asiana Airlines	3,601	20
Ethiopian Airlines	3,393	21	China Postal Airlines	272	21	Polar Air Cargo ⁽⁴⁾	3,478	21
United Airlines	3,263	22	Shandong Airlines	287	22	Ethiopian Airlines	3,304	22
KLM ⁽⁴⁾	3,025	23	Japan Airlines	254	23	All Nippon Airways ⁽⁴⁾	3,172	23
All Nippon Airways ⁽⁴⁾	2,890	24	LATAM ⁽⁴⁾	242	24	KLM ⁽⁴⁾	3,025	24
Silk Way West Airlines	2,876	25	IndiGo ⁽¹⁾	200	25	Silk Way West Airlines	2,876	25

Рис. 7. Ведущие грузовые авиакомпании

2.2 Размер флота гражданских грузовых самолетов

2.2.1 Разбор размера существующего флота и будущего флота через 10 лет

В 2021 году количество самолетов, предназначенных строго для грузовых перевозок, выросло на 3%, а переоборудование пассажирских самолетов для грузовых перевозок побило рекорды. Поскольку почти половина грузов перевозится в виде belly cargo у пассажирских широкофюзеляжных самолетов, то необходимо зафиксировать их рост. Совокупное количество больших и сверхбольших широкофюзеляжных самолётов (как пассажирских, так и грузовых), увеличится с 4839 до 7347 к началу 2032 года. То есть десятилетний рост составит 51.8%.

Предполагается, что совокупный годовой темп роста (CAGR) упадет в 4.3% в год (период с 2015 по 2020) до 2.1% в год (период с 2022 по 2032) из-за потерь в результате ограничений. При этом нужно учесть рост доли грузовых широкофюзеляжных самолетов с 10% до 30%. Таким образом можно сказать, что объем рынка таких самолетов может достигать 1000 самолетов (схожей оценки придерживается Airbus).

В течение периода 2020–2032 совокупные годовые темпы роста грузового парка составил 3.3% (3100 бортов к 2032), а пассажирского 2.6% (35000 бортов к началу 2032).

2.2.2 Настоящие и будущие грузовые программы Boeing и Airbus

Рассмотрим ближе “сверхбольшие” A350 и Boeing 777/777X (оба отвечают справочному коду аэродрома E ИКАО). Итого в начале 2022 года в эксплуатации находится 2155 самолетов (45% от общего количества), из них 220 грузовые (все 777F). Совокупные заказы и поставки составляют 3026 самолетов (с учетом 777X и A350F), из них 327 – грузовые, т. е. около 10% от всех сверхбольших. Airbus и Boeing ожидают утроения этой доли до 30% из-за ряда факторов.

Рассмотрим семейства грузовых самолетов Boeing и Airbus сейчас и в будущем:

Boeing: 777-8F (2028 год), 747-8F, 777F, 767-300F, 767-300BCF, 737-800BCF.

Airbus: A350F (2025 год), A330-200F, A330P2F, A321P2F.

Из этих самолетов программы BCF и P2F это программы полной конверсии самолетов из пассажирских в грузовые, а самолеты “F” это грузовые самолеты, изначально построенные по модифицированным проектам пассажирских. Есть и Combi и Quick-Change, для совместной перевозки пассажиров с грузами и быстрой смены конфигурации самолета соответственно. Помимо указанных выше заводских программ, есть и частные программы конверсий.

В 2027 году вступят новые законы ИКАО, целью которых является снижение шумов и вредных выбросов в атмосферу. В результате вступления в будущем этих законов строительство новых единиц самолетов старых поколений будет запрещена, в том числе грузовых. Также будут введены финансовые барьеры для использования грузовых самолетов на базе старых платформ.

Необходимо также отметить исчезающие сегменты jumbo и super-jumbo. И Boeing 747-8, и A380. Производство всех «джамбо» заканчивается в 2022 году, а большая часть пассажирских «джамбо» либо уже списана, либо скоро будет.

2.2.3 Объемы производства, конверсий и использования старых моделей

При рассмотрении спроса, грузместимости и роста грузового флота нужно заметить важность конверсий типа P2F/BCF, Quick-Change и Combi. Причина заключается в росте грузов от онлайн-торговли, которые в основной своей массе являются “неплотными” грузами.

В 2018 году было доставлено 1800 самолетов, в 2020 году 804 самолета, в 2021 году 1014 самолета (из них почти четверть это произведенные ранее 737MAX), а в 2022 году около 1650 самолетов. При этом полное восстановление производства ожидается не ранее 2025 года.

Все это приводит к тому, из 2506 (по данным IATA) новых и модифицированных грузовых самолетов только 598 самолетов будут полностью новыми, а остальные 1908 будут конверсиями. Boeing предоставляет близкую величину в 2430 самолетов, из них только 830 (25%) будут старыми модернизированными самолетами.

Exhibit 11: Projected global fleet changes, 2022-2032

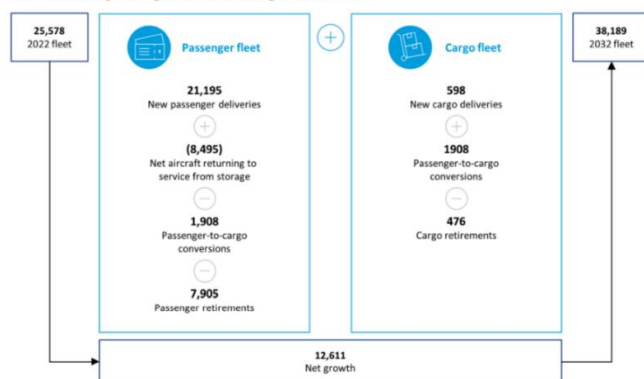


Рис. 8. Изменения в мировом пассажирском и грузовом флотах 2022–2032

2.2.4 Вывод из эксплуатации и замена самолетов

В 2020 году выведено из эксплуатации около 1300 самолетов (из них 25% широкофюзеляжные), это рекордный показатель. В 2021 году он вернулся на показатель 2019 года порядка 650 самолетов (из них

20% широкофюзеляжные).

В ближайшее десятилетие 41.1% новых самолетов будут заменять старые из-за указанных выше причин, что приведет к падению возраста самолетов до с 24,9 до 22,9 лет

2.2.5 Циклы, летные часы и возраст на протяжении эксплуатации

Ожидается, что в течение десятилетия длительность рейсов на дальних магистральных увеличится, что связано с высокой дальностью современных широкофюзеляжных самолетов и доступностью дешевых денег для лизингодателей. Как следствие, появляются рейсы типа low capacity – long range. Поэтому количество циклов до списания немного сократится, но летные часы увеличатся на 20% в сравнении с 2019 годом.

По мере вступления в силу новых законов по шумам и выбросам возраст грузовых самолетов будет только расти из-за доступности старых пассажирских самолетов для конвертации, а доля 25+ летних вырастит с 5 до 10% или 4000 самолетов.

2.3 Выработка требований на основе анализа конкретные программы Boeing и Airbus

При выработке требований необходимо разобрать технические характеристики грузовых программ двух лидеров промышленности (Boeing и Airbus) необходимо провести анализ характеристик их ведущих проектов. Для Boeing это 777-8F, а для Airbus A350F.

Из материалов выше видно, что двухдвигательные самолеты будут главенствовать на рынке за счет меньшего количества двигателей при той же фактической дальности и не сильно меньшей нагрузке. Требования:

Предполагается самолет специализированного проекта со следующими характеристиками:

- высокоплан нормальной аэродинамической схемы с нормальным оперением, двумя подкрыльевыми турбореактивными двухконтурными двигателями высокой степени двухконтурности и трехопорное шасси с передней опорой;
- дальность полета с максимальной нагрузкой 9000 км;
- максимальная масса полезной нагрузки 130 тонн;
- максимальная взлетная масса 350 тонн;
- габаритные размеры ограничены справочным кодом аэродрома E ИКАО;
- колея шасси 9...14 метров.

Поперечное сечение должно размещать на главной палубе две грузовых паллеты (два контейнера) размеров 96x125x118 дюймов (средняя масса до 2.8 тонн) и 1 паллету/контейнер размера 96x125x64 дюйма (средняя масса до 2 тонн) на нижней палубе. При этом процент плотности объема, занимаемый грузом должен быть максимальным.

Носовая часть фюзеляжа должна иметь кабину и зону отдыха экипажа, на второй палубе.

Фюзеляж должен иметь на главной и нижней палубах грузовые двери, размеры и угол открытия которых способствовал не только для перевозки стандартных паллет, но и для перевозки негабаритных грузов. На главной палубе самолета должны помещаться 30–34 паллеты, на нижней палубе 10–17 паллет, в зависимости от расположения крыла.

Частными требованиями к грузовым палубам являются:

- разделение системы кондиционирования и жизнеобеспечения на обеих палубах для предотвращения нагрева грузов в паллетах;
- система обнаружения задымления и пожара, нагрева паллет;
- система пожаротушения;
- система видеонаблюдения грузового отсека;
- система роликового передвижения по палубам негабаритных, и стандартных грузов и их фиксации.

3 Результаты исследования

Анализ результатов тенденций грузовых перевозок и рынка самолетов повышенной грузоподъемности и дальности полёта позволяет:

1. Провести оценку объема рынка рассматриваемых самолетов;
2. Сформировать комплекс требований для проектирования;
3. Выполнить экономическое обоснование возможности создания грузового самолета требуемой размерности по специализированному проекту;

Заключение

В результате исследования был определен объем рынка грузовых авиаперевозок с помощью анализа связи перевозок с ВВП, динамики грузовых тонно-километров и их соотношением с тарифами за перевозки, региональным спросом, коэффициентом загрузки грузоперевозок, объемами перевозок и доходами авиакомпаний.

Описан размер парка грузовых воздушных судов. Проанализирована динамика развития парка ЛА на следующие десять лет. Оценён объем производства и конвертаций, величины списаний и замен, а также параметры циклов и летных часов перед списанием.

Составлен список требований к будущему грузовому самолету повышенной грузоподъемности и дальности полёта.

Сделан вывод о возможности создания такого самолета по специализированному проекту.

Литература

1. *Братухин А.Г., Серебрянский С.А., Стрелец Д.Ю. и др.* Цифровые технологии в жизненном цикле Российской конкурентоспособной авиационной техники – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2020. – 448с.
2. Проектирование самолётов / под ред. М.А. Погосяна. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Инновационное машиностроение, 2018. – 864 с.
3. *Настас К.Г., Серебрянский С.А.* К вопросу использования цифровых технологий в управлении конфигурацией воздушного судна на этапе разработки и сертификации // Избранные научные труды двадцатой Международной научно-практической конференции "Управление качеством", Москва, 11–12 марта 2021 года. – М.: Издательство «Пробел-2000», 2021. – С. 261-265.
4. *Кантимиров С.А., Серебрянский С.А.* Весовое проектирование летательного аппарата на цифровой платформе в едином информационном пространстве жизненного цикла изделия // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021) : Труды Четырнадцатой международной конференции, Москва, 27–29 сентября 2021 года / Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2021. – С. 1151-1161.