

Концепция создания среднемагистрального пассажирского самолета укороченного взлета и посадки

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

На основе анализа рынка воздушных судов разработана концепция создания современного среднемагистрального пассажирского самолёта с пассажировместимостью 19 человек, максимальной скоростью полета 913 км/ч и практической дальностью при полной загрузке 2500 км. Концепция представлена в виде проектных решений, характерных для ранних этапов проектирования, в объеме, достаточном для перехода к формированию технического предложения и последующим этапам проектирования.

Ключевые слова: концепция проектирования, техническое задание, аванпроект, интегрированное проектирование, параметризация, летно-технические характеристики, экономическая эффективность, компоновка, аэродинамическое качество, схема самолета, летно-технические характеристики, качество самолета, крейсерская скорость, ресурс.

В настоящее время на территории Украины не производят пассажирские самолеты с пассажировместимостью до 19 человек, а потребность в самолетах данного типа растет с каждым годом. Производство таких самолетов даст возможность совершать перевозки как по территории Украины, так и в соседние страны. Это позволит совершать перевозки пассажиров к крупным аэропортам Украины и ближнего зарубежья для пересадки на дальнемагистральные самолеты. Для удовлетворения поставленных задач необходимо создание самолета в двух модификациях: с ТРДД (ХАИ-КС1 - для перевозок бизнес-класса) и ТВД (ХАИ-КС2 - для перевозок эконом-класса), который должен обладать высокими летными характеристиками, приемлемой сложностью проектирования и относительно небольшой стоимостью изготовления и эксплуатации.

Для сравнения были выбраны следующие самолеты:

- самолеты с ТРДД: Bombardier Challenger 850 (Канада, 2006), Bombardier Global Express XRS (Канада, 2006), Falcon 2000DX (Франция, 2007), Gulfstream G650 (США, 2009);
- самолеты с ТВД: Beech 1900 Airliner (США, 1982), L-410 Turbolet (Чехословакия, 1969), M202 (Россия), Jetstream 31 Super (Великобритания, 1988).

В данной статье представлена концепция создания среднемагистрального пассажирского самолета пассажировместимостью до 19 человек с двумя двигателями ТРДД в хвостовой части фюзеляжа с условным названием «ХАИ-КС1». Необходимость создания такого самолета обуславливается несколькими причинами.

Во-первых, необходимо восполнить отсутствующий тип самолета в связи с ростом спроса на него.

Во-вторых, в последние годы идет интенсивная мировая глобализация, что вызывает потребность в быстрых перемещениях населения, что лучше всего обеспечивает воздушный транспорт.

В-третьих, необходим современный самолет, более производительный, скоростной, с более высоким уровнем комфорта и безопасности, при этом самолет должен иметь возможность эксплуатироваться на грунтовых аэродромах с различным покрытием: грунт, трава, песок, грязь, слякоть, лед, снег, вода.

Самолеты ХАИ-КС1 должны максимально обеспечить:

- широкий диапазон функциональных возможностей по дальности, скорости, комфорту, автономности и аэродромной сети;

- разнообразие вариантов по видам применения (региональный, магистральный, средней дальности, административный, грузовой) и типам оборудования (отечественная или западная авионика и оборудование);

- современный уровень технических и эксплуатационных характеристик;
- соответствие современным нормам летной годности (АП-25, FAR-25, JAR-25), стандартам системы качества и перспективным экологическим стандартам;
- эксплуатация на грунтовых и необорудованных аэродромах.

Целью работы является разработка и создание среднемагистрального пассажирского самолета укороченного взлета и посадки с двумя ТРДД, соответствующего заданным техническим требованиям, превосходящего по техническому уровню лучшие зарубежные и отечественные самолеты данного класса.

Достижение указанной цели осуществлено на основе разработанных новых концепций по:

- аэродинамике – разработка и создание аэродинамической компоновки самолета, обеспечивающей малые скорости взлета и захода на посадку и крейсерское аэродинамическое качество порядка 19...20, что на 5...7% выше показателей аналогов. Обеспечение компоновки с малыми запасами статической устойчивости ($m_z^{Cy} = -0.03...-0.07$), что уменьшит потери на балансировку; применение сверхкритических профилей, что обеспечит большее крейсерское качество;

- взлётно-посадочным характеристикам. Должны обеспечивать безопасную эксплуатацию разрабатываемого самолёта с грунтовых аэродромов при длине ВПП от 900 м, что соответствует классу Д по классификации СНИП 2.05.08-85, СНИП 32-03-96, либо классу 2В согласно классификации ИКАО, а также эксплуатацию с необорудованных аэродромов;

- силовой установке. Должна обеспечивать необходимый уровень тяговооружённости при низком уровне шума, вибраций и расходе топлива на крейсерском режиме не более 0,55...0,56 кг/кгс.ч. По шуму на местности самолет должен удовлетворять требованиям главы 4 международных стандартов «Охрана окружающей среды», приложения 16 к Конвенции о международной гражданской авиации (том I «Авиационный шум», 2001 г.).

- компоновке – компоновка салона должна обеспечивать уровень комфорта на уровне современных мировых стандартов для салонов эконом-класса, с возможностью переоборудования и выпуском самолетов с салонами бизнес-класса и класса люкс. Кабина экипажа и пассажирский салон полностью герметичны.

- системе управления и пилотажно-навигационному комплексу. Должны быть выполнены с применением современного оборудования. Необходимо, чтобы точностные характеристики пилотажно-навигационного комплекса отвечали международным требованиям (RNP, RVSM, BRNAV и PRNAV). Кабину летчиков выполняют с учетом современных требований эргономики. Основными устройствами, на которых отображается пилотажная и навигационная информация, а также данные основных систем самолета и силовых установок, являются цветные жидкокристаллические дисплеи с активной матрицей;

- прочее:

- проектный ресурс планера должен составлять не менее 80000 летных часов. Срок службы - не менее 30 лет.
- эксплуатационная технологичность должна обеспечивать удельную трудоёмкость технического обслуживания не более 2,5 человеко-часа на 1 час полета, а также возможность автономного текущего технического обслуживания самолета силами экипажа.

Для обеспечения конкурентоспособности разрабатываемый самолёт должен удовлетворять требованиям современных норм лётной годности (АП-25, FAR-25).

Для обеспечения эффективности проектирования самолёта следует широко применять современные системы автоматизированного проектирования (САПР) для оптимизации проектных параметров самолёта, а также системы интегрированного проектирования CAD/CAM/CAE/PLM.

Согласно разработанному техническому заданию самолет должен соответствовать следующим требованиям и обладать следующими характеристиками:

Основные лётно-технические характеристики базового самолета		
Количество пассажиров, чел.		19
Максимальная масса платной нагрузки, кг		2300
Двигатель:		
- тип	PW545	AI-25 2E
- количество взлётная тяга, кН (кгс) (H=0, CA+15°C)	2×17,58 кН (2×1678,9кгс)	2×14,7 кН (2×1500, кгс)
Скорость, км/ч:		
- максимальная		913
- максимальной дальности		850
Крейсерская высота, км:		11
Практическая дальность, км:		
- с максимальной платной нагрузкой		2500
- с пассажирами		2500
- без груза и пассажиров		4250
ВПП (сухой бетон, грунт, H=0, CA), м		900
Состав экипажа:		
- командир ВС,		
- второй пилот - бортпроводник		
Ресурсы и сроки службы		
Проектный ресурс		80000 часов
Проектный срок службы		30 лет
Технический уровень		
Топливная эффективность	24,9 + 2% грамм топлива на 1 пасс. км	
Весовая эффективность	284+2% кг пустого снаряженного самолета на 1 пассажира	
Удельная трудоемкость		
технического обслуживания	2,5 чел.ч на 1 ч налета	
Годовой налет	2800...3500 ч	
Ожидаемые условия эксплуатации и эксплуатационные факторы		
Барометрическое давление во всем диапазоне высот полета		по ГОСТ 4401-81
Температура наружного воздуха $t_{нв}$		по ГОСТ 4401-81
Отклонение $t_{нв}$ от среднего значения для различных высот по линиям		"Min – арктические" "Max – тропические"
Массовая плотность, барометрическое давление, вязкость воздуха		по ГОСТ 4401-81

Температура наружного воздуха у земли -55...+ 45° С
 Относительная влажность наружного воздуха у земли при $t_{нв}$ 35° С ≤ 98%

Направление и скорость ветра у земли:

- встречная составляющая ≤ 25 м/с
- попутная составляющая ≤ 5 м/с
- боковая составляющая под углом 90° к ВПП:

$f \geq 0,5$	≤ 15
м/с	
$f \geq 0,3$	> 6 м/с

Самолет должен эксплуатироваться на аэродромах с бетонным покрытием и нежестким укрепленным покрытием (асфальтобетон, в связанном состоянии галька или гравий, укатанный грунт), подготовленных в соответствии с НАС ГА-86.

Высота расположения аэродрома:

- над уровнем моря до 3000 м
- ниже уровня моря до 300 м

Допустимые состояния ВПП (по НАС ГА-86):

- сухая;
- влажная;
- мокрая, с участками воды;
- залитая водой до 10 мм;
- покрытая слоем слякоти до 15 мм;
- заснеженная при $f \geq 0,3$.

Самолет должен обеспечивать полеты:

- по правилам визуального полета и полета по приборам;
- днем и ночью;
- в простых и сложных метеоусловиях;
- в условиях обледенения (при $t_{нв}$ не ниже минус 30° С);
- по внутренним и международным воздушным трассам и линиям;
- над равнинной, холмистой и горной местностью;
- над водными пространствами, безориентирной местностью и в диапазоне географических широт -- до 73° северной и 55° южной.

Эксплуатационные минимумы погоды:

- для взлета – дальность видимости на ВПП не менее 200 м;
- для посадки – II категория ICAO с возможностью доведения до III А категории ICAO, при условии состава и характеристик наземных средств обеспечения полета в соответствии с НПП ГА с учетом существующих и перспективных средств обеспечения навигации и коммуникации.

Проектирование самолета является многокритериальной задачей, решение которой лежит в области компромиссов. Поскольку число основных параметров, характеризующих самолет и подлежащих оптимизации, колеблется от 15 до 20 и невозможно достичь максимума одновременно для всех, то в процессе решения задачи выбирают несколько параметров (обычно от 2 до 5 – в зависимости от целевого назначения самолета), для которых и обеспечиваются максимально возможные значения.

Проектируемый СМПС ХАИ-КС1 разрабатывается двух классов: пассажирский эконом-класса до 19 человек и пассажирский бизнес-класса на 8-10 пассажиров. При этом переоборудование из одного класса в другой должно было бы осуществляться силами самого эксплуатанта. Это должно существенно повысить конкурентоспособность самолета. Улучшенные взлетные и посадочные характе-

ристики наряду с возможностью всепогодной эксплуатации и расширенным диапазоном возможностей по дальности и коммерческой загрузке позволят авиакомпаниям открывать новые направления, оптимизируя маршрутную сеть и расписание. Предполагается, что серийное производство конкурентоспособных отечественных легких самолетов должно осваиваться, на свободных мощностях ведущих украинских авиапредприятий. Возможности их сбыта в Украине и странах СНГ ограничены единичными продажами из-за низкой покупательной способности авиапредприятий, отсутствия инфраструктуры, сложностей обеспечения эксплуатации и т.п.

При проектировании ставится задача достижения максимальной скорости 913 км/ч, крейсерской высоты полета - 11 км, практической дальности – 2500 км. Для этого в качестве силовой установки принимают ТРДД для повышения по сравнению с аналогами крейсерской скорости и высоты полета, а также уровня комфорта пассажиров. Согласно авиационным правилам пассажирские самолеты, перевозящие более девяти человек, должны оснащаться минимум двумя двигателями. После анализа существующих ТРДД в качестве силовой установки были приняты два двигателя PW545 со взлетной тягой $2 \times 17,58$ кН ($2 \times 1678,9$ кгс) ($H = 0, CA = 15$ °С). Двигатели Pratt&Whitney были выбраны как обладающие лучшими показателями по экономичности и массогабаритным характеристикам. Кроме того, фирма-изготовитель обладает развитой системой сервисных центров и предоставляет свои услуги на протяжении всего срока эксплуатации двигателей. В качестве альтернативы импортному двигателю может использоваться двигатель, выпускаемый ОАО "Мотор Сич" АИ-25 серии 2Е взлетной тягой $2 \times 14,7$ кН (2×1500 кгс) ($H = 0, MCA$).

Согласно принятой конструктивно-компоновочной схеме самолет представляет собой низкоплан нормальной аэродинамической схемы со стреловидным крылом большого удлинения с развитой механизацией, хвостовое оперение нормальной схемы, с размещением ГО на ВО. Фюзеляж самолета является самостоятельным модулем с узлами крепления опор шасси, крыла, вертикального и горизонтального оперения, двигателей. В фюзеляже находятся отсек радиолокатора, отсек БРЭО, герметичная кабина экипажа и пассажирский салон. Шасси трехопорное, убираемое в полете, с носовым колесом, основные опоры одностоечные, с пневматиками низкого давления, которые позволяют эксплуатировать самолет на необорудованных аэродромах, в том числе на грунтовых, ледовых и заснеженных.

Заданный уровень весового совершенства конструкции предполагается обеспечить путем широкого применения композиционных материалов (КМ). Вертикальное и горизонтальное оперение должны быть полностью выполнены из КМ так же, как и носок, законцовки крыла и вся крыльевая механизация (предкрылок, закрылок, элероны, триммеры и сервокомпенсаторы). Рассмотрена возможность выполнения из КМ носовой и хвостовой частей фюзеляжа. Центральную (салонную) часть фюзеляжа, кессон крыла и центроплана предполагается изготавливать из алюминиевых сплавов, чтобы сохранить технологическую преемственность и упростить подготовку к производству машины на отечественных авиапредприятиях.

Благодаря значительному использованию КМ и расширенному применению методов интегрированного проектирования с учетом усталости расчетная относительная масса конструкции получается на 15...20% ниже, чем у существующих аналогов, при заданном проектном ресурсе планера в 80000 часов, что должно

обеспечить проектный срок службы самолета в 30 лет при годовом налете от 2800 до 3500 часов.

В результате анализа ТТХ двигателя был сделан вывод о том, что для обеспечения заданного уровня топливной эффективности (0,0245 кг/пасс. км) на крейсерском режиме полёта необходимо обеспечить крейсерское аэродинамическое качество самолета не ниже 18...19. С учетом требований ТЗ эксплуатации самолета с грунтовых и необорудованных аэродромов было принято решение о расположении крыла по схеме низкоплан и размещении двигателей в хвостовой части фюзеляжа. По предварительным расчетам, для обеспечения заданной дистанции взлета необходимо достижение взлётно-посадочного качества 8-9 при $C_y = 2,4$. В результате предварительных расчетов и оптимизации геометрических параметров крыла с использованием САПР было принято решение о применении трапециевидного крыла большого удлинения со стреловидностью по $\frac{1}{4}$ хорд 28° с автоматическим многосекционным предкрылком и двухщелевым двухсекционным закрылком с нагрузкой на крыло до 400 кг/м². Оптимизацию проводили по аэродинамическому качеству на крейсерском режиме при условии обеспечения заданных взлетно-посадочных характеристик с учетом применения механизации.

Полученная расчетная величина аэродинамического качества для крейсерского режима – 18,3. Дальнейшие работы по повышению аэродинамического качества самолета будут проводиться при более подробной проработке аэродинамической компоновки, подбором оптимальной аэродинамической и геометрической крутки крыла, а также в процессе уточнения взаимного влияния различных элементов конструкции самолета (взаимная увязка).

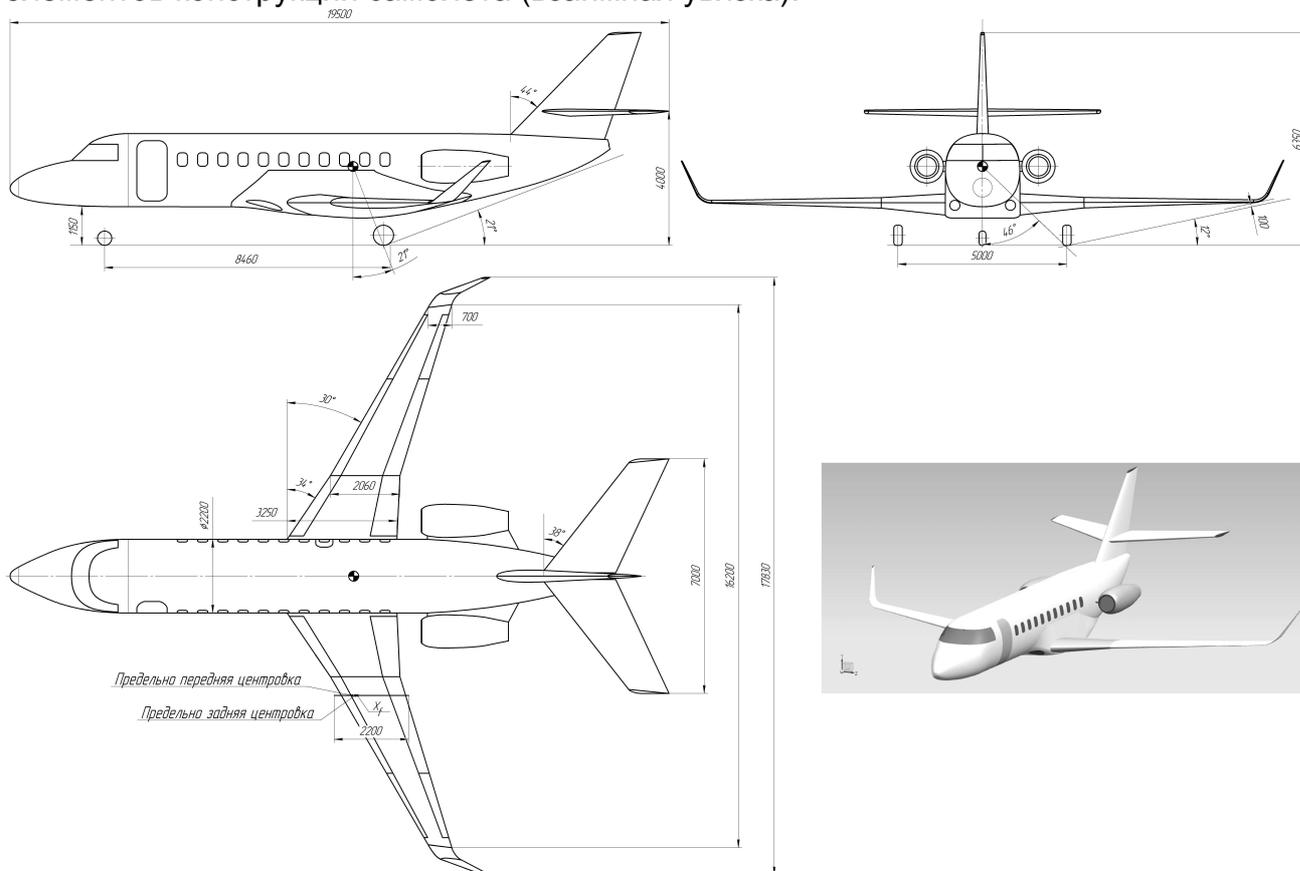


Рис. 1. Общий вид самолета ХАИ-КС1

В соответствии с полученными геометрическими параметрами был разработан чертеж общего вида самолета ХАИ-КС1 (рис. 1).

Для обеспечения графической визуализации процесса проектирования применяли систему Siemens NX. Были созданы отдельные узлы и агрегаты самолёта, после чего проведена их взаимная увязка. В результате получили параметрическую мастер-геометрию проектируемого самолёта (рис. 2), на которую ассоциативно завязываются все конструктивные элементы, находящиеся внутри самолёта, в результате чего создаётся модель распределения пространства самолёта.



Рис. 2. Параметрическая модель мастер-геометрии самолета ХАИ-КС1

При разработке компоновки салона обеспечивался комфорт на уровне современных мировых стандартов для салонов эконом-класса с максимально возможным приближением по комфорту к бизнес-классу, с возможностью переоборудования и выпуска самолетов с салонами бизнес-класса и класса люкс.

Базовая компоновка пассажирской кабины рассчитана на 19 пассажиров, с размещением 18 пассажирских кресел по схеме 2+1 и одно кресло отдельно. Входная дверь 1800x1070 мм располагается на левом борту впереди салона, по правому борту находится служебная дверь 1651x533 мм, которая в аварийной ситуации используется как аварийный выход типа II. Схема компоновки салона показана на рис. 3.

Кабина пилотов выполнена с учетом современных требований эргономики по размещению экипажа. Бортовое оборудование представляет собой пилотажно-навигационный комплекс на цифровой основе с информационно-аналитическим обеспечением внедрения геоинформационных и GPS/ГЛОНАСС технологий.

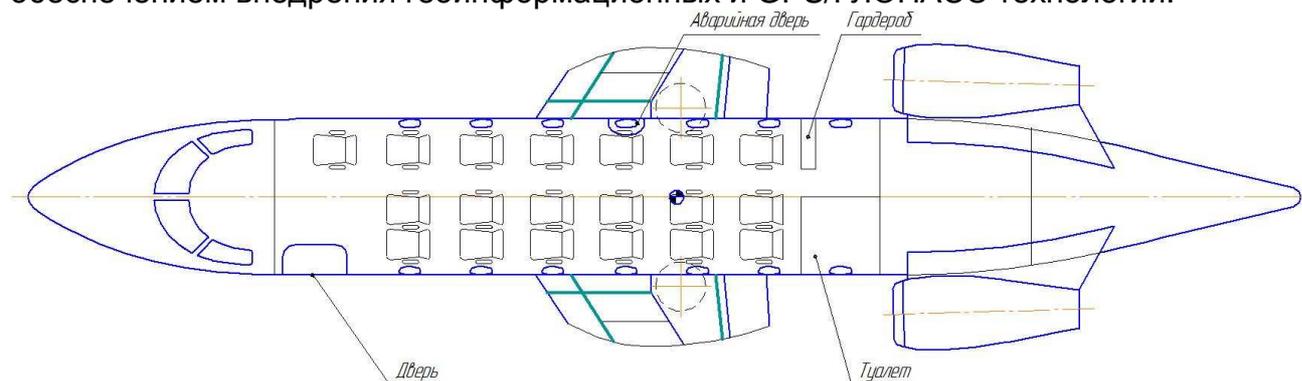


Рис. 3. Схема компоновки салона самолета ХАИ-КС1

Комплекс бортового электронного оборудования самолета состоит из системы ближней и дальней навигации, бортовой авионики (интегрирующей в комплекс основные самолетные системы), систем радиосвязи, радиолокационной системы для обнаружения грозовых фронтов, турбулентности атмосферы и осуществления обзорных функций, системы развлечения пассажиров.

Была разработана объемно-массовая и аэродинамическая компоновка, обеспечивающая требуемые характеристики устойчивости и управляемости самолета, а именно $m_z^{Cy} = -0.03 \dots -0.07$ (рис.1). При предельно задней центровке обеспечивается $m_z^{Cy} = -0.03$, а при предельно передней $m_z^{Cy} = -0.07$.

Точностные характеристики пилотажно-навигационного комплекса отвечают международным требованиям (RNP, RVSM, BRNAV и PRNAV). В состав бортового оборудования должно входить оборудование, обеспечивающее следующие условия эксплуатации:

- выполнение полета визуально и по приборам;
- обеспечение полета днем и ночью в простых и сложных метеоусловиях, в любое время года;
- обеспечение полетов в районе аэродрома, по трассам внутри государства и по международным воздушным трассам и линиям на 5-минутном интервале и с вертикальным эшелонированием 300 м, над безориентирной и малопересеченной земной поверхностью и акваториям при полете по трекам;
- посадка самолета должна быть обеспечена по IIIA категории ICAO, высота принятия решения – 30м.
- по физико-географическим условиям полет должен выполняться над равнинной, холмистой и горной местностью, в диапазоне геодезических широт от 70° северной и 55° южной, 180° по долготе.

Основным устройствами, на которых отображается пилотажная и навигационная информация, а также данные основных систем самолета и силовых устано-

вок, являются цветные жидкокристаллические дисплеи с активной матрицей (AMLCD) – основной полетный дисплей (индикатор) (PFD) и многофункциональный дисплей (MFD). В случае отказа какого-либо индикатора возможно перераспределение отображаемой информации между оставшимися индикаторами.

Комплекс снабжен многофункциональными пультами управления для эффективного взаимодействия пилотов и воздушного судна в целях обеспечения всех режимов полета и бесперебойного контроля аппаратуры в полете.

Создание и применение нового типа самолёта для перевозки пассажиров на местных авиалиниях стран СНГ позволят:

- повысить коэффициент загрузки по сравнению с воздушными судами большей пассажировместимости;
- повысить топливную эффективность и комфорт пассажиров при замене устаревшего парка самолётов местных авиалиний;
- провести модернизацию парка авиационной техники с меньшими затратами, чем при закупке западных аналогов;
- дополнить модельный ряд предприятий авиационной промышленности новым конкурентоспособным объектом производства.

Разработка и внедрение в процессе создания самолёта новых методов проектирования, материалов, технологий, а также отраслевых и государственных стандартов позволят поддержать конкурентоспособность и авторитет отечественного авиационно-космического комплекса.

Выводы

Разработана концепция создания легкого СМПС в виде проектных решений, характерных для ранних этапов проектирования, в объеме, достаточном для перехода к формированию технического предложения и последующим этапам проектирования.

Сформулированы и обоснованы требования к характеристикам, оборудованию, соответствию самолёта международным нормам и правилам, позволяющие обеспечить проектирование, производство, эксплуатацию конкурентоспособного самолёта, превосходящего по основным характеристикам зарубежные и отечественные аналоги.

Список литературы

1. Проектирование самолетов [Текст]: учебник для вузов/ С.М. Егер, В.Ф. Мишин, Н.К. Лисейцев и др. – М.: Машиностроение, 1983. – 661с.
2. Торенбик, Э. Проектирование дозвуковых самолетов [Текст]: пер. с англ. /Э.Торенбик /пер. Е.П.Голубков. – М.: Машиностроение, 1983. - 148с.
3. Основы общего проектирования самолетов с газотурбинными двигателями [Текст]: учеб. пособие / П.В. Балабуев, С.А. Бычков, А.Г. Гребеников и др.– Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т» 2003. – Ч.1. – 454 с.
4. «Уголок неба» большая авиационная энциклопедия, <http://www.airwar.ru>

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав.каф. В.Е. Гайдачук, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Концепція створення середньомагістрального пасажирського літака скороченого зльоту і посадки

На підставі аналізу ринку повітряних суден розроблено концепцію створення сучасного середньомагістрального пасажирського літака з пасажиромісткістю 19 осіб , максимальною швидкістю польоту 913 км/год і практичною дальністю при повному завантаженні 2500 км. Концепція представлена у вигляді проектних рішень характерних для ранніх етапів проектування в обсязі, достатньому для переходу до формування технічної пропозиції і наступних етапів проектування.

Ключові слова: концепція проектування, технічне завдання, аванпроект, інтегроване проектування, параметризація, льотно-технічні характеристики , економічна ефективність, компоновка, аеродинамічна якість, схема літака, крейсерська швидкість, ресурс.

The concept of designing of medium-haul passenger aircraft of short takeoff and landing

Analyzing the aircraft market there was developed a concept of designing of a modern medium-haul passenger aircraft with a passenger capacity of 19 people, a maximum flight speed of 913 km/h and an operational range of 2,500 under full load. The concept is presented in the form of specific design solutions for the early stages of designing to the extent sufficient for proceeding to a technical proposal formation and the subsequent stages of the designing.

Keywords: designing concept, terms of reference, preliminary design , integrated designing, parameterization, aircraft performance, economic efficiency, layout, aerodynamic efficiency, aircraft scheme, cruising speed, durability.