

Разработка аванпроекта легкого шестиместного пассажирского вертолета

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

Проведен анализ существующих конструктивных особенностей легких пассажирских вертолетов. Выбрана схема вертолета, определены удельная нагрузка на ометаемую несущим винтом площадь, взлетная масса вертолета в трех приближениях. Определены летные характеристики вертолета, оснащенного двумя двигателями АИ-450. Разработан общий вид, аэродинамическая, объемно-массовая и конструктивно-силовая компоновки. Выполнен расчет центровки вертолета. Созданы мастер-геометрия и модель распределенного пространства вертолета.

Ключевые слова: вертолет, двигатель, несущий винт, рулевой винт, трансмиссия, хвостовая балка, проектирование.

Стратегия развития отечественной авиационной промышленности на период по 2020 г. предусматривает создание легких вертолетов. Парк легких вертолетов в Украине составляют Agusta-109; Bell-206, -407, -430; Eurocopter EC-120 Colibri, AS-350, -355 Ecureuil; Aerospatiale SA-341; Alouette-3; Robinson R-22, -44; SCHWEIZER 300C; RotorWay EXEC-162f; отечественные Ми, Ка и украинские вертолеты АК1-3 и КТ 112 «Кадет» [1].

В настоящее время базовые варианты легкого пассажирского вертолета имеют ряд модификаций: транспортные, сельскохозяйственные, санитарные, поисково-спасательные, учебно-тренировочные, спортивно-пилотажные, научно-исследовательские, патрульные, разведывательные, противопожарные, противотеррористические [2].

Рассмотрим особенности современных многоцелевых и пассажирских вертолетов разных стран: MD 900 Explorer, США (1988 г.), Agusta A-109 Hirundo, Италия (1971 г.), Bell 407, США (1994 г.), Bell 427, США (1997 г.), Eurocopter EC 135, Франция (1996 г.), Agusta Westland AW 119 Koala, Италия (1995 г.), Eurocopter EC 130 Франция (1999 г.), Aerospatiale AS.350 Ecureuil, Франция (1974 г.), Bell 206L LongRanger, США (1974 г.), общие виды которых показаны на рис. 1.



Рис. 1. Общие виды легких вертолетов



Рис. 1. Окончание

Летно-технические характеристики этих вертолетов представлены в табл. 1. Вертолет Agusta A119 Koala предназначен для комфортабельной перевозки 6–7 пассажиров. Фюзеляж – цельнометаллический типа полумонок из алюминиевых сплавов. Силовые элементы изготовлены из алюминиевых сплавов, а большинство несильных элементов (люки, капот, обтекатели) – из поликарбонатов горячего формования или композиционных материалов (номекс, стекловолокно). В зависимости от модификации он оснащен новой системой пожаротушения Fire Attack System Model 325 компании Symplex, системой предупреждения о сближении с воздушными судами Traffic Collision Avoidance System (TCAS), системой климат-контроля, видео- и аудиосистемой, спутниковой связью, трехосевым автопилотом, дублированной гидросистемой управления, спутниковым и радионавигационным оборудованием. Состав специального оборудования включает в себя камеры дневного и ночного наблюдения с высокой разрешающей способностью, оборудование радиопеленгования, управляемый поисковый прожектор высокой мощности. Приборная панель A119 имеет небольшие размеры. Дополнительные окна расположены в нижней носовой части фюзеляжа и дверей кабины пилотов. Возможна трансформация салона A119 для медицинской перевозки двух пациентов под наблюдением медицинского персонала. Вертолет имеет хорошие летно-технические характеристики, которые обеспечивает один двигатель Whitney Canada PT6B-37A. Недостатками вертолета являются его большие габариты и применение одного двигателя, что противоречит одному из принципов обеспечения безопасности полета.

Достоинствами вертолета EC 130 B4 являются длительный ресурс основных агрегатов (лопасти несущего винта имеют ресурс 20 000 часов эксплуатации), а также простота в обслуживании. Предусмотрен вариант

Таблица 1.

Параметры и характеристики вертолетов

Параметры и характеристики вертолетов	Обозначение	Единицы измерения	Вертолёты (прототипы)									Проектируемый вертолет
			MD 900	Agusta A109	Bell 407	Bell 427	ES 135	AW 119	ES 130	AS 350	Bell 206 L	
Общие данные												
Страна			США	Италия	США	США	Франция	Италия	Франция	Франция	США	
Назначение			Многоцелевой	Многоцелевой	Многоцелевой	Транспортный	Многоцелевой	Многоцелевой	Транспортный	Многоцелевой	Многоцелевой	Пассажирский
Год выпуска			1988	1971	1994	1997	1979	1995	1999	1974	1974	
Летные данные												
Максимальная скорость	V_{\max}	км/ч	278	311	256	259	287	281	235	287	241	278
Крейсерская скорость	$V_{кр}$	км/ч	250	287	246	246	270	267	222	245	207	225
Статический потолок	$H_{\text{стат}}$	м	3840	1495	3720	2745	4750	4450	5875	4080	1980	3500
Динамический потолок	$H_{\text{дин}}$	м	6100	5485	6100		6100	6096	7010	6100	3050	6000
Продолжительность полета	t	ч	2,4	2	2,48	2,9	2,8	3,7	-	2,7	3,2	
Окружная скорость концов лопастей несущего винта	ωR	м/с										
Нормальная взлетная масса	m_0	кг					2835					
Максимальная взлетная масса	m_{\max}	кг	3057	2660	2381	2880	2900	2850	2400	2800	2064	
Масса пустого вертолета	$m_{\text{пуст}}$	кг	1481	1418	1189	1751	1490	1455	1360	1174	1047	
Масса полезной нагрузки	$m_{\text{п.н}}$	кг										

Продолжение табл. 1.

Параметры и характеристики вертолетов	Обозначение	Единицы измерения	Вертолёты (прототипы)									Проектируемый вертолет
			MD 900	Agusta A109	Bell 407	Bell 427	ES 135	AW 119	ES 130	AS 350	Bell 206 L	
Масса перевозимого груза	$m_{гр}$	кг										
Масса коммерческой нагрузки	$m_{ком}$	кг										
Масса экипажа	$m_{эк}$	кг	160	160	160	160	160	80	80	80	160	
Количество членов экипажа	$n_{эк}$	чел.	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2
Количество пассажиров	$n_{пас}$	чел.	6	6	6	6	6	7	7	6	6	6
Параметры и характеристики вертолетов	Обозначение	Единицы измерения										
Коэффициент весовой отдачи по полной нагрузке	K		0,52	0,47	0,51	0,4	0,52	0,49	0,43	0,58	0,49	
Масса топлива	m_T	кг	602	-	484	770	-	605	540	540	419	
Масса оборудования	$m_{об}$	кг	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Характеристики двигателей												
Тип двигателей			ГТД	ГТД	ГТД	ТВаД	ГТД	ГТД	ТВаД	ГТД	ГТД	ТВаД
Количество двигателей	$Z_{дв}$	шт.	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2
Взлетная мощность двигателя при $H=0$ и $V=0$	$N_{дв}$	л.с.	2x469	2x313	2x750	2x529	2x470	1x747	1x632	1x632	2x485	2x300

Продолжение табл. 1.

Параметры и характеристики вертолетов	Обозначение	Единицы измерения	Вертолёты (прототипы)									Проектируемый вертолет
			MD 900	Agusta A109	Bell 407	Bell 427	ES 135	AW 119	ES 130	AS 350	Bell 206 L	
Геометрические параметры												
Диаметр несущего винта	D	м	10,31	11	10,67	11,28	10,20	10,83	10,69	10,69	11,28	
Диаметр рулевого винта	D _{р.в}	м	2φ	2	1,65	1,73	1	2φ	1	1,86	1,65	
Плечо рулевого винта	L _{р.в}	м	6,4	6,715	6,325	6,705	5,8	6,6	6	6,43	6,665	
Число лопастей несущего винта	Z _л	шт.	5	4	4	4	4	4	3	3	2	
Число лопастей рулевого винта	Z _{р.в}	шт.	-φ	2	2	2	2	-φ	2	2	2	
Ометаемая несущим винтом площадь	F _{н.в}	м ²	84,9	95	88,2	100	81,71	91,6	88,2	88,2	100	
Площадь крыла	S _{кр}	м ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Площадь стабилизатора	S _{ст}	м ²	0,948	1,507	0,845	1,57	1,23	0,929	1,79	1,198	0,953	
Удельная нагрузка	P	H/м ²	359	275	279	297	324	305	267	311	203	
Коэффициент заполнения несущего винта	σ		0,062	0,056	0,064	0,067	0,075	0,092	0,08	0,0703	0,064	
Удлинение лопасти НВ	λ	-	19	15,7	20	19,4	17	13,8	11,8	13,6	9,89	
Коэффициент заполнения рулевого винта	σ _{р.в}	-	-	0,0878	0,124	0,146	-	0,1274	-	0,134	0,108	
Удлинение лопасти РВ	λ _{р.в}	-	-	7,25	5,16	4,37	-	5	-	5,1	5,9	
Колея шасси	B	м	2,5	2,6	2,29	2,28	2,0	2,1	2,3	2,4	2,28	

установки быстросъемного дополнительного оборудования. В конструкции вертолета повсеместно используются композиционные материалы. Втулка несущего винта (НВ) системы Starflex обеспечивает высокую маневренность и полную управляемость даже при нулевых перегрузках.

Фюзеляж вертолета Bell 407 оснащен большим количеством технологических панелей для обеспечения простоты технического обслуживания. Он оснащен кабиной VIP-класса на 7 мест. Имеет большой багажный отсек. Четырехлопастная роторная система обеспечивает хорошие летные характеристики. Безопасность обеспечивается Fadec (цифровой системой контроля двигателя и подачи топлива) и испытанным газотурбинным двигателем Rolls Royce 250-C47B. Недостатками вертолета являются малая скорость, дальность полета, удельная нагрузка на ометаемую несущим винтом площадь и один двигатель.

Конструкция вертолета Aerospatiale AS.350 Ecureuil обладает надежностью, простотой и удобством в обслуживании, имеет низкие уровни вибрации и шума на местности. Недостатками вертолета являются малая дальность полета, удельная нагрузка на ометаемую несущим винтом площадь и один двигатель [3].

Анализ рассматриваемых вертолетов показывает что целесообразно создать легкий пассажирский вертолет для перевозки шести пассажиров.

Вертолет должен быть конкурентоспособным среди современных зарубежных вертолетов, иметь лучшие летно-технические характеристики, большую скорость, высоту полета, дальность, чем его предшественники:

- дальность полета $L = 750$ км;
- высота статического и динамического потолка соответственно $H_{ст} = 3500$ м, $H_{дин} = 6000$ м;
- максимальная скорость $V_{max} = 278$ км/ч;
- крейсерская скорость $V_{кр} = 225$ км/ч.

Вертолет необходимо оснастить современным оборудованием, он должен иметь хороший дизайн, быть комфортным и иметь современный салон для пассажиров, а также возможность модифицирования в транспортном, аварийно-спасательном, патрульном, санитарном варианте, VIP-класса и других вариантов под заказ.

Целью данной статьи является разработка аванпроекта легкого 6-местного пассажирского вертолета с двумя двигателями АИ-450 (ПАО «Мотор Сич»).

С учетом схем вертолетов-прототипов выбрана схема вертолета, изображенная на рис. 2.

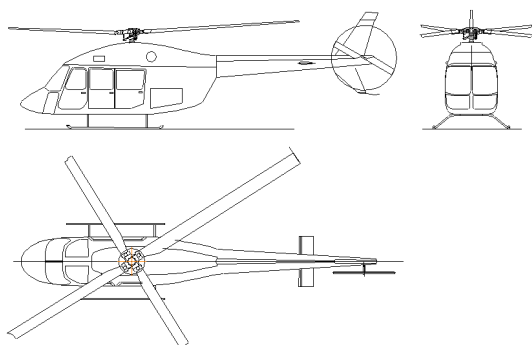


Рис. 2. Схема легкого пассажирского вертолета В-2

Проектируемый вертолёт - одновинтовой схемы. Несущий винт – четырехлопастной, рулевой винт – тянущий, двухлопастной. Фюзеляж плавно переходит в хвостовую балку. На хвостовой балке расположен стабилизатор, два киля и рулевой винт. Шасси – ползковое. Два двигателя (АИ-450) и главный редуктор расположены в фюзеляже на потолочной панели, на конце хвостовой балки установлен хвостовой редуктор.

Взлетная масса вертолета определялась в зависимости от удельной нагрузки на ометаемую несущим винтом площадь [4].

Исследовано влияние удельной нагрузки на ометаемую несущим винтом площадь (в диапазоне от 150 до 350 Н/м²) на изменение взлетной массы вертолета. Построена зависимость $m_0(p)$ и найдено оптимальное значение удельной нагрузки в удовлетворяющем диапазоне ограничений и определено минимальное значение взлетной массы вертолета. Для большинства прототипов удельная нагрузка $p=300$ Н/м², поэтому рационально выбрать для вертолета такое значение. Тогда взлетная масса соответственно $m_0=2621$ кг. График зависимости взлетной массы $m_{взл}$ от удельной нагрузки на ометаемую несущим винтом площадь p показан на рис. 3.

В соответствии с взлетной массой и удельной нагрузкой определены геометрические параметры и массы агрегатов на основании аналитических расчетов. Проведено исследование влияния значений удельной нагрузки в диапазоне от 100 до 400 Н/м² от высоты статического потолка от 2 до 3,5 км, максимальной скорости от 240 до 278 км/ч с определением количества потребной мощности двух двигателей для каждого значения и зависимость на величину взлетной массы значений потребной мощности от удельной нагрузки для случая отказа одного из них (рис. 4).

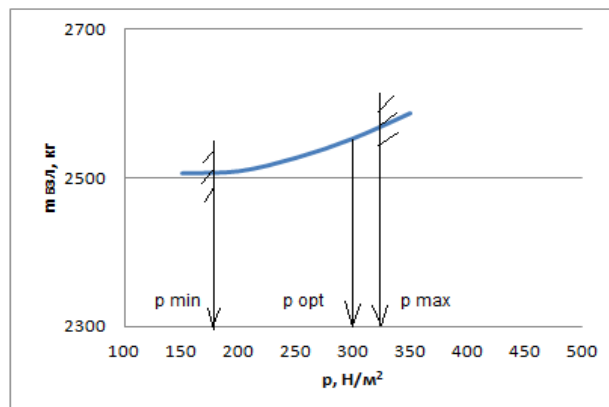


Рис. 3. Влияние удельной нагрузки на величину взлетной массы

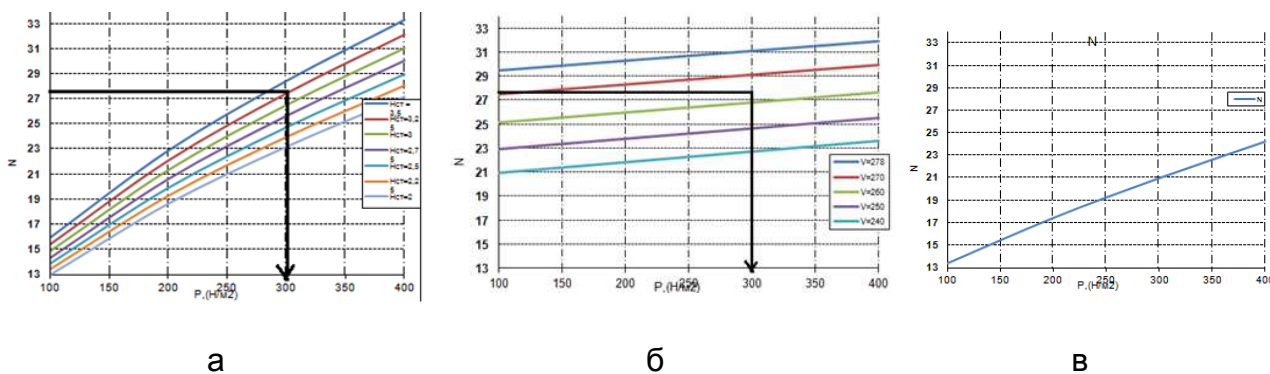
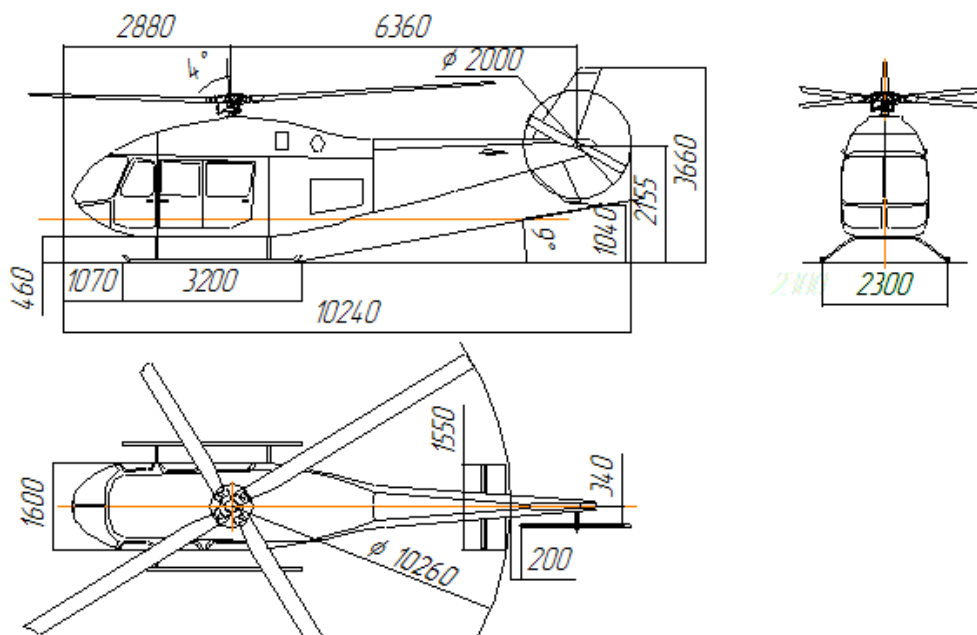


Рис. 4. Графики: а - зависимость мощности при висении от p на разной высоте $H_{ст}$; б - зависимость мощности от p на разных скоростях V_{max} ; в - зависимость мощности в случае отказа одного из двигателей от p

Установленные двигатели АИ-450 без учета потерь энергии на приводы, электрооборудование, генераторы, рулевой винт обеспечивают следующие ЛТХ: при коэффициенте сопротивления $C_x = 6,053 \cdot 10^{-5}$: и нагрузке $p = 300$ Н/м² статический потолок $H_{ст}=3,2$ км, динамический - $H_{дин}=6,0$ км, максимальная скорость $V_{max}=263$ км/ч. Улучшенная аэродинамика вертолета

до $C_x = 2,75 \cdot 10^{-5}$ путем изменения формы фюзеляжа и создания плавного перехода от фюзеляжа к хвостовой балке дает следующие ЛТХ: при нагрузке $p = 300 \text{ Н/м}^2$ статический потолок $H_{ст}=3,2 \text{ км}$, динамический - $H_{дин}=6,4 \text{ км}$, максимальная скорость

$V_{max}=317 \text{ км/ч}$, поэтому для дальнейшего проектирования вертолета приняты схема и общий вид вертолета показанные на рис. 5. На базе пассажирского вертолета В-2 может быть создан вертолет в транспортном, аварийно-спасательном, патрульном и санитарном вариантах.



- | | |
|--|--------------------------------------|
| - Взлетная масса вертолета, кг ...2621 | - Число и тип двигателей |
| - Масса пустого вертолета, кг.....1167 |2хТВаД АИ-450 |
| - Полезная нагрузка, чел.6 | - Мощность, л.с.300 |
| - Экипаж, чел.2 | - Максимальная скорость, км/ч...317 |
| - Диаметр несущего винта, м10,26 | - Крейсерская скорость, км/ч.....225 |
| - Диаметр рулевого винта, м.....2 | - Дальность, км.....750 |
| - Длина, м10,24 | - Статический потолок, м3200 |
| - Высота, м.....3,66 | - Динамический потолок, м6400 |

Рис. 5. Общий вид легкого пассажирского вертолета В-2

Аэродинамическая компоновка вертолета представляет собой обтекаемый фюзеляж, плавно переходящий в хвостовую балку. Для обеспечения устойчивости, балансировки вертолета применен стабилизатор, он также играет важную роль на режиме моторного планирования и авторотации. Киль применен для разгрузки рулевого винта в горизонтальном полете. В случае отказа двигателей вертолет переходит на режим авторотации [5].

Фюзеляж и хвостовая балка – балочно-стрингерной конструкции, состоят из нормальных и силовых шпангоутов, и стрингеров. Фюзеляж имеет силовой пола и потолочную панель. Конструктивно-силовая схема вертолета В-2 показана на рис. 6.

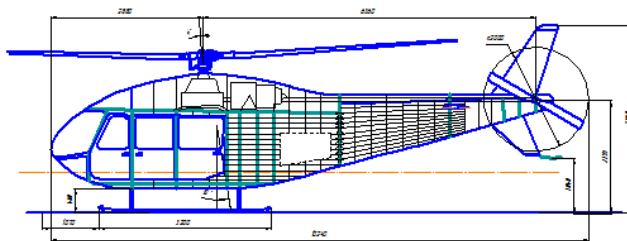


Рис. 6. Конструктивно-силовая схема вертолета В-2

Разработана компоновка пассажирского салона вертолета. Расположение пассажирских мест подобно вертолетам Bell 427, Agusta AW 119 Koala: кресла в два ряда по три человека в каждом (рис. 6, а).

Ширина фюзеляжа составляет 1,6 м, что несущественно отличается от его прототипов, так, в Bell 427 она равна 1,5 м. Вертолет имеет габариты подобны вертолету Bell 427. По сравнению с Agusta AW 119 Koala его длина на 743 мм меньше. Вдоль бортов расположены багажные полки. Система кондиционирования предусматривает индивидуальный обдув каждого кресла. Для обеспечения жизнедеятельности предусмотрены системы вентиляции и отопления с автоматическим регулированием температуры в кабинах вертолета, кислородные маски для пассажиров и пилотов при полете на высоте свыше 5000 м.

Для повышения комфорта по требованию заказчика на вертолете может быть установлен гаситель вибраций. Как упоминалось ранее, возможны перекомпоновки в салоны VIP-класса.

В санитарном варианте можно расположить двое носилок сверху и снизу и откидную скамью для сидячих раненых, столик для медикаментов и сиденье для медработника (рис. 6, б).

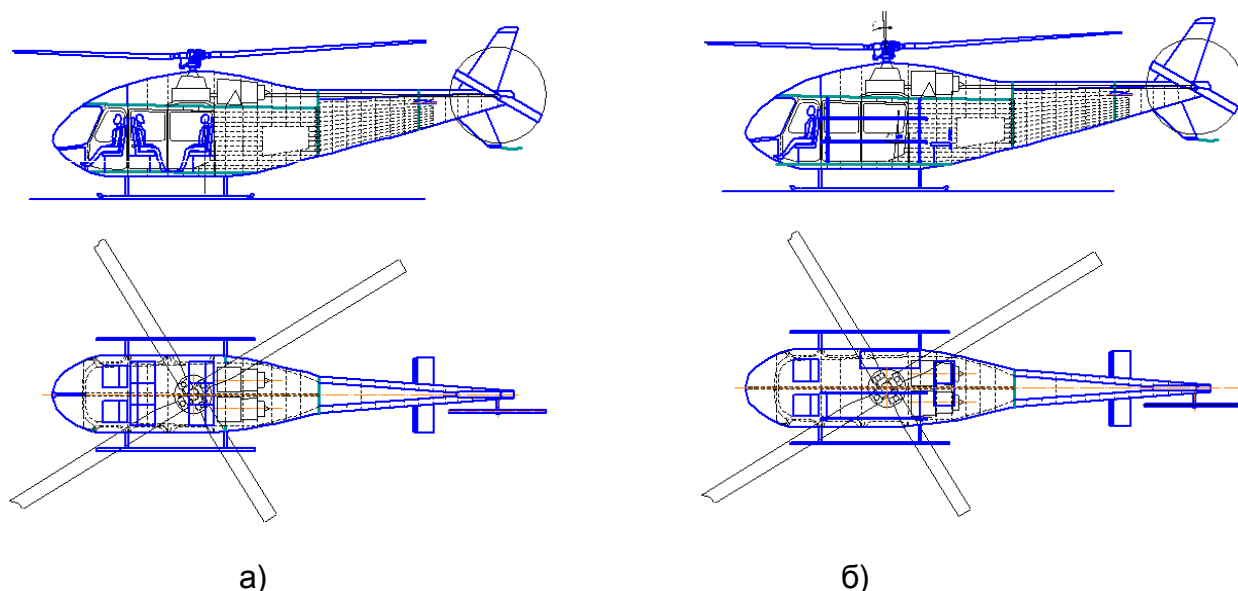


Рис. 6. Компоновка вертолета В-2: а - пассажирский вариант; б - санитарный вариант

По сравнению с вертолетами-прототипами, например с Bell 427, вертолет В-2 имеет:

- меньшую на 259 кг взлетную массу при таком же количестве пассажиров;
- большую на 58 км/ч максимальную скорость полета;
- статический потолок выше на 455 м;
- динамический потолок выше на 300 м;
- дальность полета больше на 34 км.

В отличие от других прототипов, например Agusta AW 119 Koala, В-2 имеет два двигателя, что удовлетворяет одному из главных требований обеспечения надежности и безопасности полета.

Был проведен расчет центровки вертолета для нескольких вариантов загрузки. Значения углов центровки входят в допустимый диапазон (передняя - до -5° , задняя - до $1^{\circ}55'$). Центровка пассажирского вертолета В-2 показана на рис. 7.

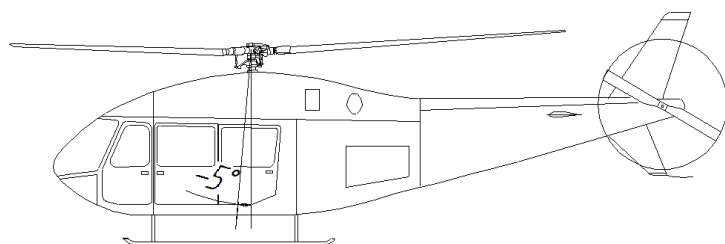


Рис. 7. Центровка пассажирского вертолета В-2

Фюзеляж вертолета плавно переходит в хвостовую балку. Носовая часть представляет собой кабину экипажа, центральная часть – грузо-пассажирскую кабину. Вход в кабину осуществляется через передние двери, расположенные с двух сторон носовой части фюзеляжа, вход пассажиров в салон – через боковые двери. Сверху и по бокам кабины расположены окна, в пассажирском отсеке двери имеют большие окна, что обеспечивает хороший обзор.

На вертолете установлены лопасти несущего винта, изготовленные из композиционных материалов, которые обладают более высокой прочностью по сравнению с металлическими. Слои лонжерона лопасти состоят из тканей Т-10 и Т-25, нити которых расположены под углами 45° и 0° соответственно. Ткань Т-10 составляет наружный слой лонжерона, который воспринимает нагрузки на кручение, ткань Т-25 воспринимает нагрузки на растяжение. Это дает возможность максимально использовать их в восприятии нагрузок. Используя КМ, имеем выигрыш в массе, высокую живучесть, более гладкую поверхность.

Крепление лопастей к втулке осуществляется через торсионы, которые существенно упрощают конструкцию. Применяемый пакет состоит из набора плоских пластинок толщиной 0,5 мм из стали ВНС 5, количество пластинок определено с помощью расчетов на прочность, $n=20$ штук [2].

Киль имеет толстый несимметричный профиль, трапециевидную форму в плане (при виде сбоку). На режиме горизонтального полета вертолета киль создает боковую аэродинамическую силу, направленную в сторону силы тяги РВ.

С помощью интегрированной системы CAD/CAM/CAE/PLM SIEMENS NX создана мастер-геометрия вертолета (рис. 8).

Вывод

В соответствии с техническим заданием был разработан аванпроект вертолета с двумя турбовальными двигателями (АИ-450). С учетом схем вертолетов-прототипов выбрана схема вертолета, представляющая собой

одновинтовую схему. Определены удельная нагрузка на ометаемую несущим винтом площадь $p = 300 \text{ Н/м}^2$ и взлетная масса вертолета в трех приближениях, равная $m_0 = 2621 \text{ кг}$. На основе аналитических расчетов определены геометрические параметры и массы агрегатов. Летные характеристики вертолета близки к зарубежным аналогам.

Габаритные размеры вертолета меньше, чем у некоторых прототипов, например, длина на 743 мм меньше, чем у Agusta AW 119 Koala. Разработан общий вид, аэродинамическая, объемно-массовая и конструктивно-силовая компоновки вертолета и выполнен расчет центровки вертолета, которая входит в допустимый диапазон (передняя - до -5° , задняя - до $1^\circ 55'$). Создана мастер-геометрия вертолета.

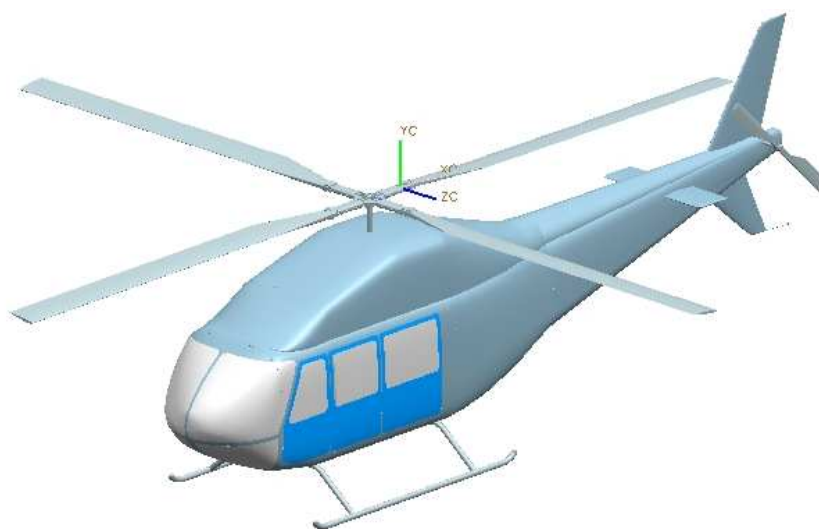


Рис. 8. Мастер-геометрия вертолета В-2

Список литературы

1. <http://www.bizavnews.ru/237/5001>.
2. Разработка аванпроекта вертолета [Текст]: учеб. пособие / Л.И. Лосев, А.Г. Гребеников, Л.Р. Джемилев и др. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2012. – 324 с.
3. <http://ru.wikipedia.org/wiki/NOTAR>.
4. Проектирование легких вертолетов [Текст]: учеб. пособие / А.Г. Гребеников, Л.И. Лосев, А.М. Тимченко и др. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. Авиац. ин-т», 2011. – 288 с.
5. Авиационные правила АП-29. Нормы летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории: - М.: Изд-во Летно-исслед. ин-та им. М.М. Громова, 1995. – 190 с.
6. Богданов, Ю.С. Конструкция вертолетов [Текст]: учебник для авиац. техникумов/ Ю.С. Богданов, Р.А. Михеев, Д.Д. Скулков. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

Рецензент: д. т. н., профессор А.Г. Гребеников, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков
Поступила в редакцию 20.11.12.

Розробка аванпроекту легкого шестимісного пасажирського вертольота

Виконано аналіз існуючих конструктивних особливостей легких пасажирських вертольотів. Вибрано схему вертольота, визначено питоме навантаження на зметаєму несучим гвинтом площу, злітну масу вертольота в трьох наближеннях, льотні характеристики вертольота, оснащеного двома двигунами AI-450. Розроблено загальний вид, аеродинамічну, об'ємно-масову, конструктивно-силову компоновку. Виконано розрахунок центровки вертольота. Створено майстер-геометрію і модель розподіленого простору вертольота.

Ключові слова: вертоліт, двигун, несучий гвинт, рульовий гвинт, трансмісія, хвостова балка, проектування.

Develop preliminary design easy six-passenger helicopter

Conducted analysis existing design features light passenger helicopters. The chosen scheme helicopter, to determine the specific load on rotor swept area, a takeoff mass of the helicopter in the three approximations. Identified aircraft performance data that can meet a given engine AI-450. Developed design and power circuits, cabin layout helicopter master model geometry and the allocated space helicopter.

Keywords: helicopter, engine, main rotor, tail rotor, transmission, tail boom, design.