

Анализ схем конвертопланов

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»*

Представлены характеристики основных аэродинамических схем преобразуемых вертолетов. Проведен анализ схем пассажирских и беспилотных конвертопланов. Рассмотрены их преимущества и недостатки. Выявлены аспекты целесообразности применения летательных аппаратов данного типа. Сформулированы направления разработки нового перспективного конвертоплана.

Ключевые слова: летательные аппараты, вертолет, конвертоплан, беспилотные летательные аппараты, электрический конвертоплан, гибридные двигатели.

Конвертопланы – это винтокрылые летательные аппараты (ЛА), способные осуществлять вертикальный взлет и посадку, как вертолет, и длительный высокоскоростной полет, как самолет, совершающие эти два режима полета с помощью преобразуемой несущедвижительной системы. Благодаря повышению аэродинамического качества и снятию ограничений скорости, присущих в горизонтальном полете вертолетному несущему винту (срыв потока, волновой кризис), конвертопланы имеют скорости полета, близкие к скоростям дозвуковых самолетов, и существенно большую по сравнению с вертолетами дальность полета и транспортную производительность [1].

Поэтому применение конвертопланов при высшей, чем у вертолетов, стоимости становится рентабельным.

Основными являются следующие схемы конвертопланов:

- с поворотом корпуса аппарата, когда на взлете и посадке он занимает вертикальное положение, а в горизонтальном полете – горизонтальное;
- с поворотными винтами и неподвижным крылом;
- с поворотными крыльями и винтами;
- с отклонением потока от винтов.

На конвертопланах с поворотными винтами на взлете и посадке винты занимают вертикальное положение и работают как несущие винты вертолетов, а в крейсерском полете – горизонтальное и работают как воздушные винты на самолете.

Условия работы винтов на этих режимах и развиваемые ими тяги существенно различаются, в связи с чем их параметры выбирают компромиссными между характеристиками несущих и воздушных винтов. Тяга на взлете больше, чем тяга в горизонтальном полете, поэтому в горизонтальном полете частота вращения винтов меньше на 20...25 %, чем на режиме висения [1].

Аппараты с поворотными винтами и неподвижными крыльями строили по двух- и четырехвинтовой схемам. На них устанавливали несущетянувшие винты различного типа:

- с малой удельной нагрузкой на ометаемую площадь, близкой к нагрузке несущих винтов вертолета, и имеющие ту же конструкцию, что и НВ;
- с большой нагрузкой, приближающейся к нагрузке самолетных воздушных винтов;
- с большой нагрузкой, размещенные в кольцевых профилированных каналах.

В двухвинтовых конвертопланах с поворотными винтами, которые расположены на концах крыла, винты имеют малую нагрузку на ометаемую площадь, конструктивно близки к несущим винтам вертолета и снабжены автоматами перекоса. На режимах вертикального взлета и посадки аппарат аналогичен двухвинтовому вертолету поперечной схемы (имеет ту же систему управления), а в горизонтальном полете его управление подобно самолетному.

Для перехода от режима висения к крейсерскому полету винты постепенно наклоняются вперед на 90° в течение 11 – 20 с. В случае отказа двигателя посадка может совершаться на авторотации (как на вертолете), а также по самолетному типу с планированием и частичным наклоном винтов. Для уменьшения потерь тяги от вертикальной обдувки крыла оно имеет отклоняемые закрылки, в результате чего относительные потери тяги могут быть доведены до 6 % [1].

Целью данной статьи является проведение анализа схем конвертопланов разных фирм-производителей, которые эксплуатируются в настоящее время, и выбор современной схемы с перспективными летно-техническими характеристиками.

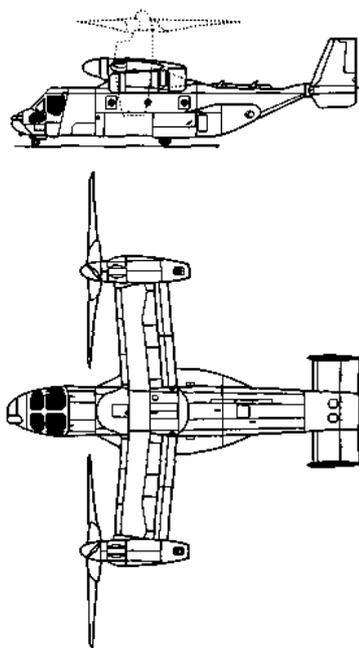


Рис. 1. Конвертоплан с поворотными винтами и неподвижным крылом V-22 "Оспри" фирмы Белл и Боинг (США)

Фирмой **Белл** выполнены подробные исследования экспериментальных конвертопланов XV-3 (взлетной массой 2180 кг, максимальной скоростью 280 км/ч) и XV-15 (взлетной массой 5900 кг, максимальной скоростью 615 км/ч).

Фирмы **Белл и Боинг** в 1982 г. разработали многоцелевой конвертоплан V-22 "Оспри" (рис. 1), первый полет которого состоялся в 1989 г., а первый серийный аппарат поступил в эксплуатацию в 1999 г. Взлетная масса при вертикальном взлете – 21 545 кг, максимальная масса платной нагрузки, перевозимой в кабине – 9070 кг, максимальная крейсерская скорость – 638 км/ч, дальность полета при вертикальном взлете с платной нагрузкой 5445 кг составила 953 км [2,7].

Корпорация **Bell/Agusta Aerospace Company** разработала конвертоплан гражданского назначения с поворотными двигательными установками VA609 [3, 5].

VA609 (рис. 2) является первым аппаратом подобного типа, предназначенным для коммерческого применения.

С технической точки зрения VA609 представляет собой довольно сложную конструкцию, состоящую из наиболее современных технологических достижений. К числу его особенностей относится широкое применение композиционных материалов, в частности, герметичный стеклопластиковый фюзеляж с алюминиевыми силовыми элементами, обогреваемые углепластиковые лопасти, электродистанционную систему управления, стеклянную кабину с комплексом оборудования,

которое обеспечивает всепогодное применение аппарата.

В целом конструкция выполнена в соответствии с концепцией безопасной повреждаемости и соответствует нормам летной годности самолетов и вертолетов транспортной категории.

К началу ноября 2006 года его общий налет уже составлял 100 часов, конвертоплан поднимался на высоту до 7 620 метров и достигал скоростей до 304 узлов.



Рис. 2. Конвертоплан гражданского назначения с поворотными двигательными установками BA609

По схеме с поворотными винтами в кольцевых каналах строили экспериментальные двух- и четырехвинтовые аппараты. Установка винта в профилированном канале позволяет увеличить относительный КПД винта на режиме висения, а также повышает безопасность эксплуатации аппарата.

Недостатки аппаратов с поворотными винтами, имеющими большую нагрузку на ометаемую площадь, заключаются в большой мощности, потребляемой ими на режиме висения, большой скорости потока, отбрасываемого винтами, и, как следствие, в невозможности проведения спасательных работ и совершения аварийной посадки на режиме авторотации в случае отказа двигателей. Отмеченные недостатки вместе со сложной конструкцией аппаратов, малой весовой отдачей, меньшей надежностью, чем у вертолетов, и высокой стоимостью явились причинами того, что эти конвертопланы не вышли из стадии экспериментальных исследований.

Отмеченные недостатки присущи также конвертопланам с поворотными крыльями. Несущая винты этих аппаратов близки по характеристикам и конструкции к самолетным воздушным винтам. По этой схеме разрабатывали и строились экспериментальные аппараты с двумя и четырьмя винтами в Канаде, США и других странах. На рис. 3 показан опытный четырехвинтовой аппарат XC-142A фирм Хиллер, Линг-Темко-Воут и Райан (США) [2].

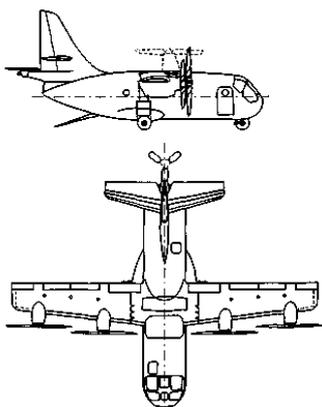


Рис. 3. Конвертоплан с поворотными крыльями и винтами XC-142A

На взлете и посадке реактивные вращающиеся моменты уравниваются путем разного направления вращения левой и правой пары винтов. Поперечное управление обеспечивается дифференциальным управлением осевых шарниров винтов, а продольное – дополнительным рулевым винтом, установленным в хвостовой части аппарата.

В данной схеме отсутствуют потери тяги от обдувки крыла, присущие схемам с поворотными винтами и неподвижным крылом. На переходных режимах возможен частичный срыв потока на крыле.

Конвертоплан XC-142A при взлетной массе 17000 кг, максимальной платной нагрузке 5445 кг развивал максимальную скорость на высоте 6100 м, равную 693 км/ч.

Американская компания **Bell Helicopter** в 2013 году представила проект конвертоплана третьего поколения Bell V-280 Valor (рис. 4) [1, 7].

Согласно проектным характеристикам крейсерская скорость машины на высоте 1835 м составляет 519 км/ч, дальность – от 930 до 1480 км при перегоночной дальности, равной 3890 км.

Особенностью конструкции нового конвертоплана стало неподвижное размещение двигателей: при переходе в самолетный режим полета поворачивают только воздушные винты.

Еще одной отличительной чертой машины было V-образное массивное хвостовое оперение, позволяющее несколько уменьшить эффективную площадь рассеяния. Конвертоплан оснащен электродистанционной системой управления с тройным дублированием каналов.



Рис. 4. Конвертоплан с поворотными винтами Bell V-280 Valor

В СССР разрабатывался проект конвертоплана МИ-30 с данными, сходными с характеристиками конвертоплана V-22 Оспри (США), но его производство было прекращено по причине недостатка финансирования.

В настоящее время пристальное внимание уделяется разработке беспилотных конвертопланов различных, в том числе и "экзотических", аэродинамических схем.

Рассмотрим основные схемы беспилотных конвертопланов.

Ключевой задачей в ходе создания беспилотника (рис. 5) стала разработка летающей лаборатории, которая позволит заниматься поиском инновационных решений и определить эффективность компоновочных схем [4].

По условиям VTOL X-Plane (рис. 6) летательный аппарат должен иметь следующие характеристики:

- постоянная максимальная скорость от 300 до 400 узлов (556 ... 741 км/ч);
- эффективность КПД парения должна быть повышена с 60 % до 75%;
- аэродинамическое качество должно быть повышено с 5 – 6 до 10 единиц и более;
- полезная нагрузка должна составлять минимум 40% от прогнозируемой взлетной массы аппарата (4500 ... 5400 кг);



Рис. 5. Проект конвертоплана КБ «Вертолеты России»



Рис. 6. Проект экспериментального конвертоплана VTOL X-Plane

Первый опытный демонстрационный образец летательного аппарата **Project Zero** (рис. 7, 8) был разработан и изготовлен всего за шесть месяцев [5]. Первый испытательный беспилотный полет аппарата состоялся в июне 2011 года. Аппарат Project Zero совершил несколько испытательных полетов.



Рис. 7. Электрический конвертоплан Project Zero

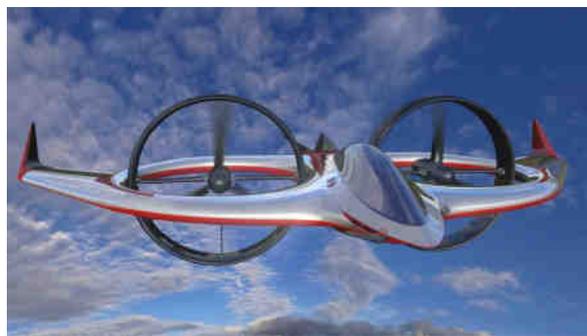


Рис. 8. Положение роторов в горизонтальном полете

Как и в конструкции других летательных аппаратов с поворотными роторами, в Project Zero они могут наклоняться в диапазоне 90 угловых градусов. Каждый из роторов приводится в действие своим собственным электродвигателем, энергия для которых прибывает из аккумуляторных батарей. Во время стоянки на поверхности роторы летательного аппарата могут быть развернуты в направлении ветра, и их вращение будет служить для зарядки аккумуляторных батарей.

Системы контроля, средства управления полетом, приводы шасси и угла наклона роторов приводятся в действие электродвигателями. Это означает, что конструкция аппарата полностью избавлена от гидравлической системы и трансмиссии любого вида, что значительно повышает надежность и живучесть.

Во время горизонтального полета основную подъемную силу обеспечивают крылья этого летательного аппарата, а дополнительную стабильность полета – наличие небольшого V-образного хвостового оперения. В некоторых случаях, когда аппарат предполагается использовать в "вертолетном режиме", большая часть крыльев может быть снята для уменьшения массы аппарата и увеличения его маневренности.

Электрические двигатели аппарата Project Zero не расходуют атмосферный кислород, благодаря чему аппарат может совершать полеты теоретически на больших высотах и в условиях сильно загрязненного воздуха. Летящий аппарат Project Zero тяжело обнаружить, поскольку он практически не производит шума и оставляет за собой очень маленький тепловой след.

Компания AgustaWestland рассматривает возможность создания гибридного варианта Project Zero, в котором дизельный двигатель будет вращать генератор, вырабатывающий электроэнергию.

Urban Aeronautics AirMule (рис. 9) – это беспилотный летательный аппарат, созданный израильской компанией Urban Aeronautics [6].

Он разрабатывался для нужд вооруженных сил Израиля с 2008 года.

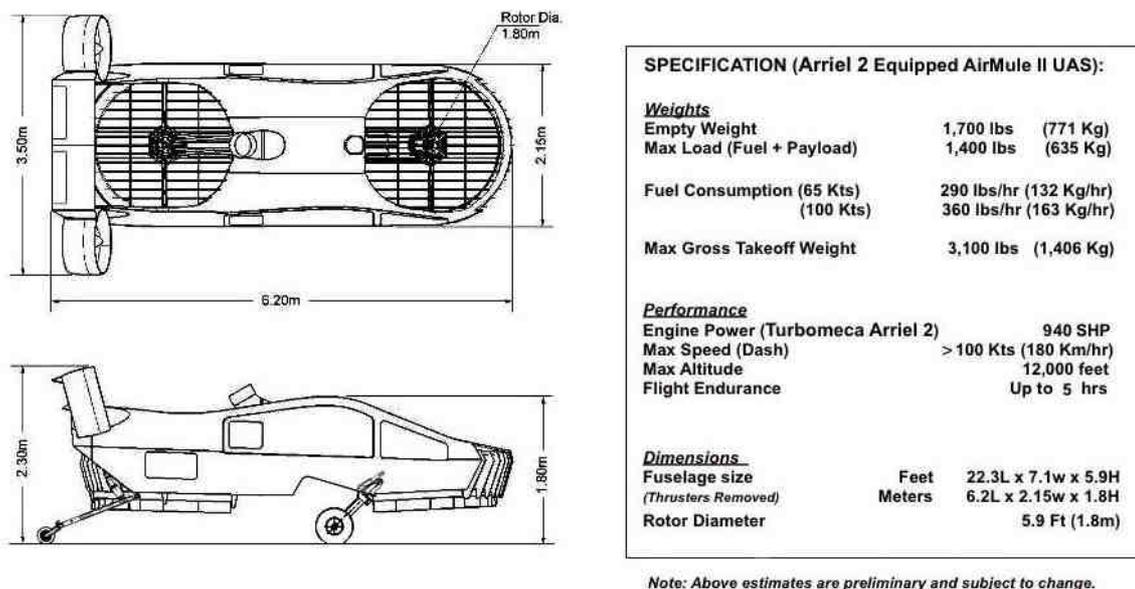


Рис. 9. Urban Aeronautics AirMule

Беспилотный летательный аппарат имеет два расположенных в корпусе вентилятора, а еще два находятся в хвостовой части AirMule. Взлетная масса аппарата составляет 1400 кг, при этом он способен брать на борт до 227 кг грузов, например, снаряжение или боеприпасы. AirMule может применяться для эвакуации раненых бойцов. Беспилотный аппарат имеет возможность находиться в воздухе около пяти часов и способен развивать скорость до 180 км/ч.

Компания Urban Aeronautics, основанная в 2001 году, специализируется на разработке как военных БПЛА, так и беспилотных аппаратов для гражданского рынка. Кроме AirMule компания создала такие устройства, как Centaur и X-Hawk.

Основанная в феврале 2015 года четырьмя инженерами и докторантами из Технического университета Мюнхена в Германии, компания **Lilium** в настоящее время разрабатывает свой первый полноценный сверхлегкий электросамолет (рис. 10) [8].



Рис. 10. Электрический конвертоплан компании Lilium

Летательный аппарат будет оборудован поворотными двухконтурными турбовентиляторными двигателями. В связи с этим для взлета ему понадобится площадка размером 15x15 метров без специальной инфраструктуры. Взлетев, конвертоплан сможет подниматься на высоту до трех километров и развивать скорость до 400 километров в час.

Питать электродвигатели Lilium (рис.11) будут аккумуляторные батареи с возможностью зарядки от обычной розетки. Одного заряда хватит на полет дальностью до 500 километров. Большое число двигателей и батарей должны повысить безопасность летательного аппарата.

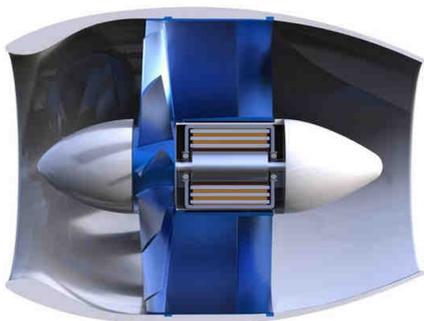


Рис. 11. Электрический двигатель конвертоплана компании Lilium



Рис.12. Модель конвертоплана холдинга "Вертолеты России"

Среди особенностей будущего конвертоплана названы управление джойстиком и тачскрином, спутниковая навигация, выдвижные шасси, большой багажник, двери типа «крыло чайки» и панорамные окна.

Предполагается, что цена и расходы на эксплуатацию окажутся гораздо ниже, чем у современных частных самолетов и вертолетов.

В настоящее время ведутся испытания уменьшенных беспилотных прототипов.

По замыслу разработчиков, конвертоплан (рис.12) может быть полноценным ударным средством: обеспечивать поддержку сухопутным войскам, а также использоваться на кораблях военно-морского флота [4].

Разрабатывают совершенно новую технологию конвертоплана с гибридной силовой установкой, способной разгонять летательный аппарат до 500 км/ч.

Разработка новых летательных аппаратов пройдет в три этапа.

На первом этапе планируется создать беспилотник массой до 300 кг для демонстрации возможностей новой технологии.

Следующим шагом будет создание конвертоплана массой до 2000 кг. Такой ЛА будет управляться дистанционно и станет промежуточным звеном для создания полноценного конвертоплана.

На третьем этапе разработчики планируют построить пилотируемый аппарат, способный нести на борту вооружение и пассажиров.

На основе проведенного анализа можно сформулировать направления разработки нового перспективного конвертоплана:

- обычно приступают к разработке уменьшенной модели взлетной массой порядка 200 кг с отработкой всех систем и режимов полета. И только затем – к проектированию конвертоплана с 600 ... 1000 кг и более полезной нагрузки;

- для обеспечения живучести, надежности и безопасности полетов, особенно для гражданских ЛА, разрабатываемые конвертопланы должны обязательно иметь режим авторотации, что устанавливает ограничения на величину удельной нагрузки на ометаемую площадь;

- в качестве несущих систем чаще всего рассматривают вентиляторные установки, расположенные как внутри крыла, так и на консолях;

- для конвертопланов в настоящее время предусматривается применение ГТД, электродвигателей, а также гибридных;

- в конструкции конвертоплана должны широко применяться композиционные материалы в целях уменьшения массы планера и повышения весовой отдачи.

На начальных этапах проектирования конвертоплана, несмотря на большое разнообразие их схем, предпочтение следует отдать "традиционной" схеме (высокоплан, прямое крыло, V-образное оперение, неподвижные двигатели на концах крыла и поворотные винты, автоматизированная система управления, необходимая для переходных режимов полета).

На рис. 13 изображена схема конвертоплана с поворотными винтами и неподвижными двигателями на крыле (аналогично схеме конвертоплана V-280), как наиболее целесообразная для исследования параметров полета на переходных режимах.

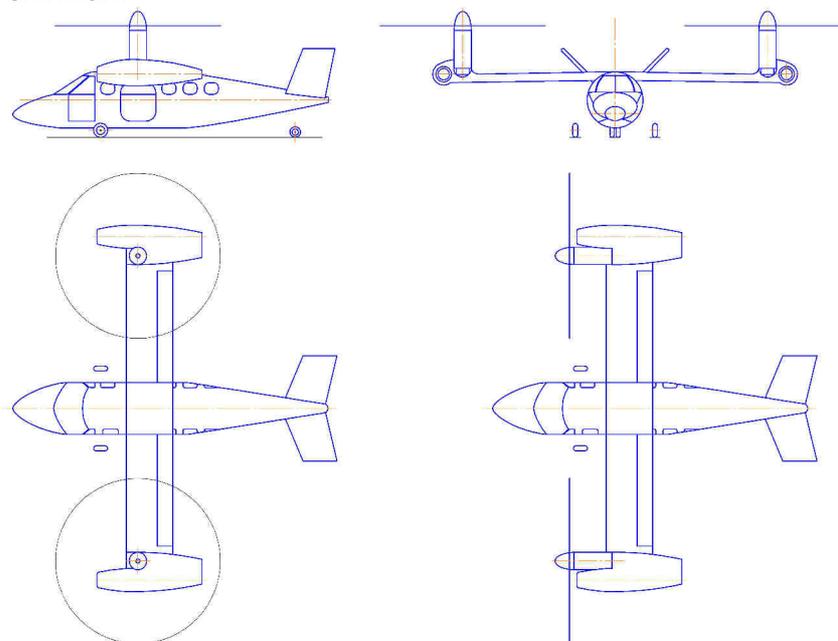


Рис. 13. Фрагмент схемы конвертоплана

По такой схеме можно создать модель со взлетной массой 200 ... 300 кг, а затем перейти к проектированию пассажирского конвертоплана на шесть-восемь человек с силовой установкой, состоящей из турбовальных, гибридных, или электрических двигателей.

Список литературы

1. Вертолеты и все о них Преобразуемые вертолеты [Электронный ресурс] / Режим доступа: или URb: <http://www.remzal.org/preobrazuemye-vertolety/>.
2. Уголок неба – большая авиационная энциклопедия [Электронный ресурс] / Режим доступа: или URb: <http://www.airwar.ru/lanow.html>. – 24.04.2014 г.
3. DailyTechInfo [Электронный ресурс] / Режим доступа: или URb: <http://www.dailytechinfo.org/space/4617-kompaniya-agustawestland-predstavlyayet-pervyy-v-mire-elektricheskiy-samolet-s-povorotnymi-rotorami.html>. – 14.03.2013 г.
4. Черкасов, С. Производство российских конвертопланов потеснит США [Электронный ресурс] / С. Черкасов. – Режим доступа: или URb: <https://cont.ws/post/134159>. – 14.10.2015 г. ВА609
5. "Військова панорама" Agusta Westland представила конвертоплан «Project Zero» [Электронный ресурс] / Режим доступа: или URb: <http://wartime.org.ua/5748-agusta-westland-predstavila-konvertoplan-project-zero.html>. – 21.03.2013 г.
6. Econet NASA показало прототип частного электрического конвертоплана Lilium [Электронный ресурс] / Режим доступа: или URb: <http://econet.ru/articles/115369-esa-pokazalo-prototip-chastnogo-elektricheskogo-konvertoplana-lilium>. – 11.05.2016 г.

7. Американцы создадут конвертоплан будущего [Электронный ресурс] / Режим доступа: или URb: <http://telegraf.com.ua/tehnologii/482936-amerikantsyi-sozdadut-konvertoplan-budushhego.html>. – 11.04.2013 г.
8. Вентиляторный конвертоплан дальнего радиуса [Электронный ресурс] / Режим доступа: или URb: <http://warfiles.ru/110738-ventilyatornyy-konvertoplan-dalnego-radiusa.html>. – 04.03.2013 г.
9. "Військова панорама". Конвертоплан V-280 [Электронный ресурс] / Режим доступа: или URb: <http://wartime.org.ua/25815-konvertoplan-v-280-foto.html>. – 29.04.2016 г.
10. Машиностроение: энциклопедия. Самолеты и вертолеты. Кн. 2 [Текст] / под ред. К. В. Фролова и др. – Машиностроение. Т. V – 21. Проектирование, конструирование и системы самолетов и вертолетов [Текст] / Г. В. Новожилов, Р. А. Беляков, Н. К. Лисейцев и др.: под общ. ред. А. М. Матвиенко. 2002 – 999 с.
11. Техническая информация, ЦАГИ [Текст] / 1998 г. – Вып. 1-2. – 60 с.

Поступила в редакцию 15.09.2016

Аналіз схем конвертопланів

Наведено характеристики основних аеродинамічних схем перетворюваних вертольотів. Проаналізовано схеми пасажирських і безпілотних конвертопланів. Розглянуто їх переваги та недоліки. Виявлено аспекти доцільності застосування літальних апаратів даного типу. Сформульовано напрямки розроблення нового перспективного конвертоплана.

Ключові слова: літальні апарати, вертоліт, конвертоплан, безпілотні літальні апарати, електричний конвертоплан, гібридні двигуни.

Analysis of Tilt-Rotor Configurations

The characteristics of the basic aerodynamic configurations of converted helicopters are presented. The configurations of passenger and unmanned tilt-rotors are analyzed. Their advantages and disadvantages are considered. Aspects of the feasibility of using this type of aircraft are revealed. The directions of developing a new perspective tiltrotor are formulated.

Keywords: aircraft, helicopter, tiltrotor, unmanned aerial vehicles, electric tiltrotor, hybrid engines.

Сведения об авторах:

Александр Григорьевич Гребеников – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой 103 «Проектирование самолетов и вертолетов», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Андрей Михайлович Гуменный – канд. техн. наук, доцент кафедры 103 «Проектирование самолетов и вертолетов», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Владимир Антонович Урбанович – ст. преп. кафедры 103 «Проектирование самолетов и вертолетов», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Лилия Юрьевна Буйвал – аспирант кафедры 103 «Проектирование самолетов и вертолетов», Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.