



АВИАДВИГАТЕЛЬ НК-12:

ЛОГИСТИКА ВОЗВРАЩЕНИЯ БУДУЩЕГО

(Из записок корабельного инженера-механика Семёнова)

Владимир Александрович Герасимов, СГАУ, кафедра КиПДЛА

Парадоксы терминов экономичности

“Дальше, выше, быстрее” - с этим девизом авиация вошла в жизнь Российской империи в начале 20 века, когда гужевой транспорт был основным, а сельское население составляло 90% от всей численности. Девиз прошёл через великие переломы 1917 и 1991 годов, пережил понесенные потери двух мировых войн и, при нынешних 75% уже городского населения страны, сохранился неизменным. За словом “дальше” скрывались экономичность энергоустановки и в эпоху поршневого авиации отражалась удельным расходом топлива (кг/л.с. час) или коэффициентом полезного действия (к.п.д.) двигателя.

При переходе авиации с поршневых двигателей на турбореактивные двигатели (ТРД) ввели удельную экономичность тяги, как отношение расхода топлива на тягу за час (кг/кгс час), а для турбовинтовых двигателей (ТВД), как разновидности газотурбинных, прежний показатель экономичности - к.п.д. сохранили без учёта тяги, создаваемой винтом, чем заложили уход от истины.

Появление двухконтурных турбореактивных двигателей (ТРДД), обеспечившее скачок экономичности тяги с 1,0 до 0,7-0,75 кг/кгс час к 60-ым годам по сравнению с ТРД, сконцентрировало непрерывное стремление всех причастных к авиации обеспечить 0,55-0,6 кг/кгс час в настоящем времени и в перспективе, достичь 0,5 кг/кгс час за счёт роста параметров цикла и степени двухконтурности.

Между тем, усредненная удельная экономичность тяги ТВД начинается с 0,3-0,35 кг/кгс час, если часовой расход топлива двигателя отнести к тяге воздушного винта на крейсерском режиме полета. Двойное превосходство экономичности тяги воздушных винтов связано с тем, что винты берут большей массой воздуха, а вентилятор ТРД берет большим ускорением воздуха, где потери пропорциональны квадрату скорости. В эпоху поршневой авиации двигатели ВСЕ были с винтами и к.п.д. двигателя был главным и определяющим.

Однако, наличие редуктора для привода воздушного винта объединяет и поршневые и ТВД в группу “с редукторным приводом”. Сложность создания редуктора ТВД многократно возросла из-за предельной нагруженности шестерен. Рост передаваемых мощностей с 1,0-2,0 тыс. л.с. для поршневых двигателей до 4,0-5,0 тыс. л.с. для ТВД сопровождался ростом передаточного отношения с 1,5-2,0 и может быть свыше 10,0, что привело к резкому тепловыделению в месте контакта шестерен и проблемам с надёжностью редукторов. Косвенным подтверждением особой сложности редукторов ТВД можно считать наличие в СССР всего 5 типов серийных редукторов установленных на ТВД: ТВД-10, АИ-24, АИ-20, НК-4 и НК-12.

Конструктивный и технологический барьеры в 5...5,5 тыс. л.с. для серийных ТВД в мировом авиамоторостроении к 2000-ым годам преодолел только НК-12, оставаясь и на сегодня непревзойдённым. Более того, высочайшая технология изготовления редуктора НК-12, основанная на материалах 40-50 гг, уступающим современным, останется непревзойденной навсегда.

На сегодня, на высоте 11 км двигатель НК-12 с к.п.д. 27% на крейсерской скорости имеет удельный расход топлива 0,156-0,160 кг/л.с. час и удельную экономичность тяги воздушных винтов около

0,3-0,35 кг/кгс час. В.М. Чепкин в июне 2011 года про НК-12 сказал: “Это турбовинтовой редукторный двигатель, фактически двухконтурный, с очень большой степенью двухконтурности равной 100. Если задача сделать предельно экономичный двигатель, то вот он предельно экономичный и есть.” (Из статьи-интервью “Наш ответ... бразильцам?”) С позиции современности обновление “НК-12” можно рассмотреть как уникальный инновационный старт для

Парадокс отставания передового

моторостроения.

Пожалуй, единственная претензия непосредственно к конструкции НК-12 может заключаться в параметрах внутреннего цикла, характерной 50-м годам. В частности, средняя степень сжатия на одной ступени компрессора составляет 1,1 и полученная суммарная степень сжатия $\pi_k=9,5$ достигается 14-ти ступенчатым компрессором. Возможно ли осуществить уменьшение осевых размеров компрессора НК-12, сохраняя существующие обороты 8300 об/мин, камеру сгорания, турбину и степень сжатия 9,5-10,0 как минимальное обновление двигателя.

Сегодня степень сжатия на одной ступени достигает 1,5-1,6, что уменьшает осевые размеры компрессора и массы ПД. В отечественном авиамоторостроении достижения реализованы в проекте “Бурлак” на двигателе Д-30КП-3 и двигателях семейства ТВ2-117 (до уровня ТВ7-117). У двигателя Д30КП-3 трехступенчатый компрессор низкого давления (КНД) заменен на одноступенчатый вентилятор. Для двигателей семейства ТВ2, 10-ти ступенчатый компрессор заменен на 5-ти ступенчатый (для ТВ7-117) с возрастанием мощности с 1500 л.с. до 3000 л.с.

С целью сокращения сроков теоретических и конструкторско-технологических поисков по обновлению компрессора НК-12 наиболее привлекательным будет семиступенчатый КНД от двигателя НК-93. Выбор сделан исходя из равенства расхода воздуха через камеру сгорания (примерно 55 кг/сек), близких частот вращения компрессора НК-12 (8300 об/мин) и КНД двигателя НК-93 (9000-10000 об/мин), степени сжатия после компрессора порядка 9,5...10,0 и места расположения входной части компрессоров соосно вращающимися лопастями винтов/винтовентиляторов. Надо принять во внимание действующие мелкосерийное производство газогенератора НК-93 для двигателя НК-38СТ в Казани.

Конструкторские школы КБ им. Кузнецова и завода по серийному выпуску двигателя НК-12, входящие в ПАО “Кузнецов”, располагают опытом установки подпорных ступеней в двигателе НК-14СТ, как развитие НК-12, а также опытом подреза лопаток компрессора двигателя НК-32 при конвертации в приводной двигатель НК-361 для газотурбовоза ПТ-01. Этот опыт весьма обнадёживает в получении обновленного НК-12 с модернизированным КНД от НК-93.

Однако существующие эксплуатационные проблемы двигателя НК-12 являются следствием ошибок, заложенных в конструкции винта АВ-60 (Ту-95) и являются критичными. Основной проблемой могут быть переменные динамические нагрузки, возникающие при совпадении положений прямых четырёх лопастей переднего и заднего соосных винтов АВ-60К. Переменные нагрузки вызывают вибрации и передаются на все элементы двигателя: валы, силовые шестерни, опоры, узлы подвески. Они же являются причиной повышенного шума таких винтов.

Кроме акустических проблем, сравнительно невысокая тяга винтов АВ-60 ($\pi=5,6\text{м}$, $P=8800\text{кгс}$) для настоящего времени, оказывает влияние на опережающие выработки ресурса двигателя на номинальном режиме и препятствует выработке на частичных нагрузках.

Комплексным решением по повышению тяги и устранению вредных вибраций прямых лопастей соосного вращения может быть применение винтовентилятора СВ-27, разработанного ОАО НПО "Аэросила" и прошедшего госиспытания в 2013 году.

Комплекс создавался для использования в составе силовой установки с двигателем Д-27, мощностью 13500 л.с., самолета Ан-70 и обеспечивал максимальную тягу 12100кгс. В случае применения его с двигателем НК-12, мощностью 15000 л.с., можно ожидать получения максимальной тяги 13400 кгс., т.е. почти в 1,45 раза больше располагаемой в настоящее время.

При вращении соосных саблевидных лопастей в разные стороны, совмещение положений будет происходить не по прямой линии, как у АВ-60, а постепенно - по точке. Это снизит аэродинамический удар и уменьшит динамические нагрузки на двигатель и шум лопастей. Этому же способствует разное количество лопастей на переднем и заднем винтах.

Другими словами, успехи развития теории и практики лопаточных машин к которым относятся лопатки компрессоров и лопасти винтов, позволяют на базе двигателя НК-12, простого по конструкции и освоенного в производстве выйти на уровни тяг 13 000кгс и перспективой роста до 15 000 кгс с удельной экономичностью на уровне 0,25 кг/кгс х час, что определяется как лидерство.

Возникает вопрос с чего начать и как убедиться в возможности

...и корабль нам поможет

тяг на практике.

Подобные условия эксплуатации соосных воздушных винтов характерны и для амфибийного корабля на воздушной подушке (АКВП) проекта "Джейран". Компоновка энергоустановки ДТ4 на проекте такова, что приводной двигатель, аналогичный НК-12, находится в корпусе корабля, а мощность передается на передний и задний винты по 7,5 тыс. л.с. отдельными трансмиссиями, т.е. в сумме не превышающей возможности редуктора НК-12. Поэтому двигатель "защищён" от вредных вибраций совпадения четырёх прямых лопастей. Несмотря на более чем удовлетворительные тяговые характеристики винта АВ-92 ($\pi = 6,2\text{ м}$, $P = 14300\text{кгс}$.) для АКВП, в дальнейшем на АКВП проекта "Зубр" был выбран авиационный вариант привода одинарного винта АВ-90 ($\pi = 5,5\text{ м}$, $P=10000\text{кгс}$.) При этом сумма тяг винтов "Джейрана" (полный вес 350 тонн, полезный груз - 80 тонн) составляет 28600кгс., уступая 1400 кгс. сумме тяг винтов в кольце "Зубра" (полный вес 550 тонн, полезный груз 150 тонн). Видимо, отказ от соосно вращающихся винтов был неизбежен из-за громоздкой трансмиссии установки ДТ4 перенасыщенной редукторами (см. схему), которую упрощает применение



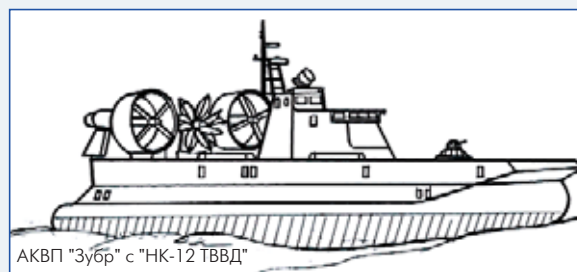
редуктора НК-12

Сопоставление эксплуатационных проблем от соосно вращающихся винтов в авиации и на амфибийных кораблях даёт

повод сведения задач в комплекс и поиска системного решения по получению биротативного движителя.

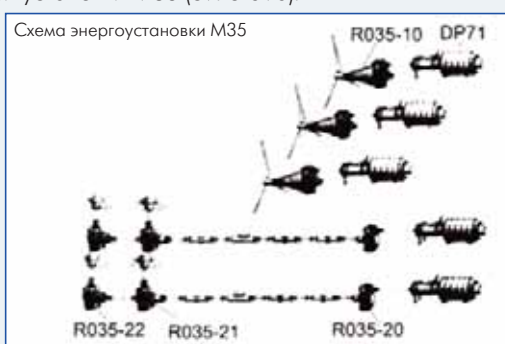
Для целей исследования модуля "НК-12 + СВ-27" (в дальнейшем "НК-12 ТВВД"), вне программ идущих на Ил-76ЛЛ и сохраняя парк Ту-95, остановимся на одном из АКВП "Зубр", находящемся на Феодосийском заводе "Море" с неопределённым статусом и замещением среднего модуля энергоустановки М35 на "НК-12 ТВВД" (см. рисунок).

Проект АКВП "Зубр" выбран исходя из возможностей размещения модуля "НК-12 ТВВД", масса



которого составит не более 4500 кг против 9300 кг модуля М35 в кольце и меньшего диаметра СВ-27 (4,5 м) по сравнению с диаметром АВ-90 (5,5м+кольцо). Эти возможности позволяют уменьшить высоту пилона и плеча приложения тяги и/или экспериментировать с тягами до 30000 кгс в располагаемых габаритах без реконструкции всей установки М35 (см. схема).

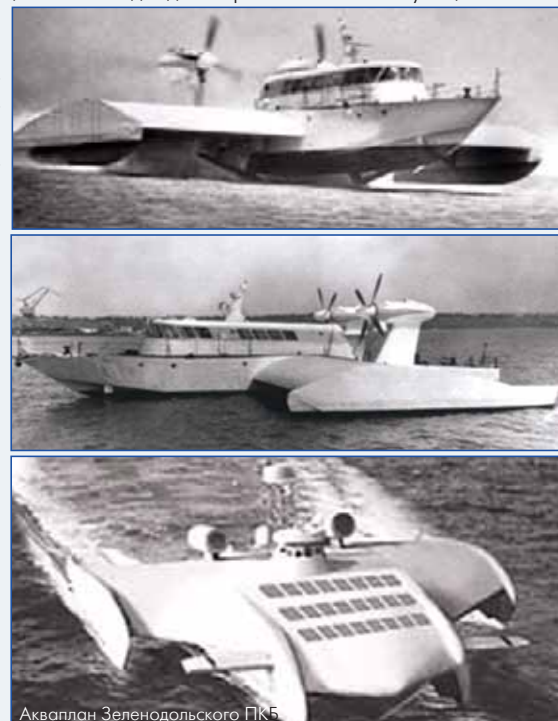
Следующая из важнейших возможностей это - режим крейсерских скоростей на АКВП 25-35м/с, соответствующих начальному режиму "взлётный" в авиации



с максимальной нагрузкой на винты. При сохранении М-35 можно обеспечить длительность крейсерского хода более 20 часов. При этом, используя реверс побортных движителей, получить фактический чрезвычайный режим "НК-12 ТВВД" с сохранением проектной живучести корабля. С точки зрения продолжения экспериментов с модулем "НК-12 ТВВД" в интересах флота и авиации можно рассматривать и капотирование тянущих роторов диаметром до 5,5 метров. Как бонус от проекта "Зубр" для экспериментов надо учитывать корабельную конструкцию пилона внутри которого трапы обеспечивают доступ к любому двигателю во время работы. С практической точки зрения проект "Зубр" может быть ремоторизован полностью под "НК-12" в количестве 4-5 двигателей на заказ с заменой осевых вентиляторов на центробежные. Для скоростей выше 35м/с, длительное безопасное движение (вместо АКВП, склонных к эффекту зарывания) возможно на аквеплане, движущемся на подводных крыльях и использующих экранный эффект.

История свидетельствует, что в интересах флота и развития противолодочной обороны (ПЛО) в акватории Черного моря проводились исследования аквепланов (см. фото справа) с достижениями скоростей 150-160 км/ч (<45м/сек) с двигателем АИ-20.

Можно вернуться к работам по грубому окрылению типового корабля на подводных



крыльях с водоизмещением 100-200 тонн, но для гражданского назначения предложение от Зеленодольского ПКБ выглядит перспективной (см. фото на пред. стр).

Как вариант, модуль "НК-12 ТВВД" будучи установленным на акваплан, развитие которых тормозится отсутствием эффективного движителя может быть подвергнут испытаниям на скоростях 45-55 м/с соответствующих скоростям отрыва режима "взлётный" (рисунок акваплана). Потолок приповерхностных скоростей около 100м/с для подтверждения надёжности модуля достигается на экраноплане "Орлёнок", где в качестве маршевого двигателя установлен НК-12.



При этом корабли, включая АКВП, акваплан и экраноплан, менее критичны к массе энергоустановки, чем самолёт, и испытания можно прово-

дить с действующим газогенератором НК-12, параллельно проводя обновление компрессора.

На приведённых аппаратах рассматривался традиционный вариант НК-12 с передним отбором мощности в пределах 13 500л.с., но в перспективе может возникнуть потребность в увеличении передаваемой мощности, ограниченной редуктором НК-12. В этом случае, трехвальный НК-93 обеспечит рост мощности до 20-25 тыс. л.с., с возможностью двухстороннего (вперед/назад) отбора мощности, реализованного в энергоустановке М73 украинского производства для АКВП "АСУ-1". Использование редуктора НК-12 или его модификации на другие передаточные отношения позволяют реализовать весь потенциал мощности НК-93 и так же первоначально испытать на АКВП "Зубр".

Таким образом, корабль позволяет проверить потенциал и двигателя НК-12 и редуктора НК-12 минимизируя все виды рисков с выходом на унифицированную ЭУ для трех видов кораблей скоростного флота.

Первым делом, первым делом экраноходы

Потребность в морском варианте "НК-12ТВВД" в первом приближении можно оценить в пределах 10% от всего выпуска НК-12 на серийном заводе (см. "Двигатель", №3, 2017г. "Морской НК-12 для амфибий. До востребования"). И только авиация может увеличить серию "НК-12ТВВД", если использовать конструкцию крыла Ту-95 для "окрыления-нео" старых фюзеляжей Ил-62, Ту-154/204/214 и новых фюзеляжей типа МС-21 в двухдвигательном исполнении. Это альтернатива двухдвигательным самолётам с ТРД/ТРДД и тягами двигателей в классе 12-16 тонн как вариант формирования спроса и потребности "НК-12ТВВД" (см. "Двигатель", №5, 2017г, "Надежда отечества - крыло и мотор. Диверсификация").

Дополнением к обозначенным типам могут быть самолёты Ил-76 и Ил-86/96 в четырёхдвигательном исполнении с "НК-12ТВВД" (см. фото моделей) как альтернатива ремоторизации этих самолётов под ТРДД в классе тяг 30-35 тонн (ПД-35).



Подробнее остановлюсь на Ил-86/96, имеющим диаметр фюзеляжа 6,02 м как у грузового Ан-22, с задачей максимального сохранения исходной конструкции крыла. Взяв за основу расположение двигателей над крылом, как это сделано на Бе-103/40/200 и наработанную практику размещения двигателей на консолях, выходящих из фюзеляжа, как это сделано на Ил-62 в хвостовой части и на экраноплане "Лунь" в носовой части, получаем модель-демонстратор Ил-86 с частью крыла Ту-95 и "НК-12ТВВД". Переборка между крыльями решает задачу прокладки коммуникаций для питания и управления двигателями от базового крыла.

Основная целевая задача "Ил-86 ТВВД" заключается в реконструкции пассажирского в транспортный аналогичный Ан-22 и топливозаправщик для ВВС России. Во времена холодной войны ВВС США купили 732 коммерческих Б-707 и переоборудовали в авиатанкеры КС-135, которые на службе более 50-ти лет и на сегодня в строю 414 единиц. На замену поступают КС-46, переоборудованные из Б-767. Наш авиатанкерный флот, состоящий из Ил-78 и его модификаций не превышает 50-55единиц.

При этом оценки модели, характеристики продувок могут быть положительными, но практическое воплощение, следуя традициям, весьма рискованно. Здесь время вернуться к идее конверсии транспортных самолётов с ТВД в аппараты на воздушной подушке (АВП). Идея впервые была высказана Бережным Игорем Александровичем в начале 80-х, а технической реализацией на самолётах Ан-24, Л-410, "Молния" занимался Игнатьев Владимир Васильевич уже в 90-х.



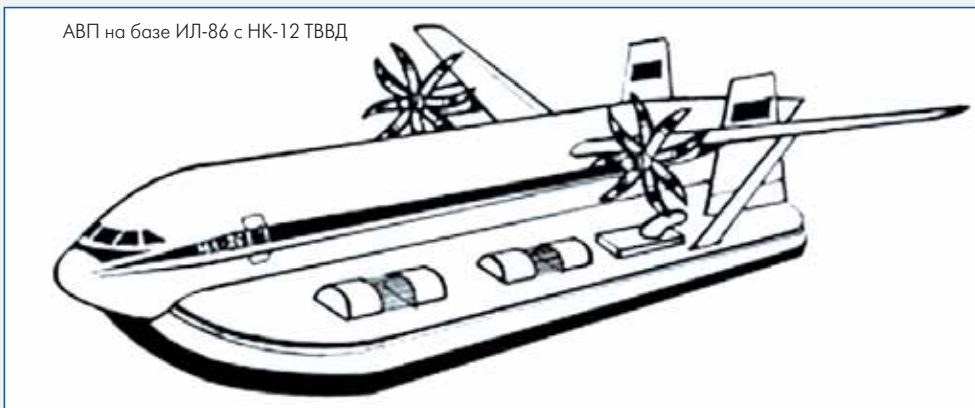
Реализация идеи предполагала наладить серийную конвертацию самолётов с ТВД, таких как Л-410, Ан-24/26/32/12/22 в АВП с взлетным весом 5-20-50-200 тонн и круглогодичным использованием. АВП по замыслу должны были заменить вертолёты в летних условиях, автомобили на автозимниках в зимних условиях и суда на мелеющих реках в условиях арктической тундры (см. фото АВП-05, АВП-20).

Так вот, до воплощения модели Ил-86 с ТВВД в реальный самолёт, можно создать АВП (см. рисунок) с конструктивным обликом будущего самолёта из имеющегося парка Ил-86. Размерность предполагаемого АВП будет в пределах рассматриваемого АКВП проекта "Зубр" с заимствованием типового гибкого ограждения и традиционным нагнетанием воздуха для создания ВП. Состав ЭУ должен включать 4 "НК-12" с компоновочным решением аналогичным компоновке проекта "Зубр", т.е. 2 двигателя на движение и 2 двигателя на ВП.

Весовая отдача АВП, создаваемого по авиационным технологиям, составит 50-60% в отличие от 25-30% весовой отдачи АКВП, созданных по судостроительным технологиям. При полном водоизмещении "Зубра" около 550 тонн полный вес (водоизмещение) АВП будет в пределах 400 тонн с грузоподъёмностью 150-200 тонн и наличием Российского Речного Регистра (РРР). Имея способность преодолевать препятствия типа вертикальная стенка высотой до 1,9 метра, всесезонную эксплуатацию, АВП становится связным в логистике между видами транспорта (авиация, ж/дорога, река) в условиях арктической тундры, низменной суши и пресноводных водоёмов по стандартам РРР.

Правильно называть такие АВП экраноходами, используя эффект опоры на поверхность (экран) и скоростью хода в пределах судовых.

АВП на базе ИЛ-86 с НК-12 ТВВД



Мотор экономики

Прочитав подзаголовок, финансист скажет, что это деньги, имея ввиду формулу "деньги-товар-деньги". Первоначально и истинно (читаете "Капитал" т. Маркса) "товар-деньги-товар". Хотя Маркс и считал первую из формул более прогрессивной. Но этим переставлением всего двух слов можно менять смысл экономики. Деньги как средство обмена стали иметь свою цену, измеряемую в процентах кредита, много больших чем за операционное обслуживание. И риск моторостроителя много выше, чем риск финансиста, приобретающего деньги Центробанка и продающего их в кредит. Всем необходимы гарантии, но надёжность сделки - только в качестве товара. Есть товар, свойства которого доказаны, и существует его производство, возможность совершенствования производства и товара, способного улучшить качество транспорта и услуг. Следовательно, именно с ним и надо экспериментировать и вкладывать в него деньги. Это я о логистике маркетинга двигателя НК-12 и в большей степени о редукторе НК-12, способному двигателям "НК" вернуть будущее.

Как говорил известный советский писатель Юлиан Семёнов: "Кто контролирует прошлое - не растеряется в настоящем, не заблудится в будущем."

Связь с автором: g_vva714@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ

Беспилотный летательный аппарат SkyGuardian MQ-9B, созданный компанией General Atomics Aeronautical Systems (GAASI), стал первым в истории средневысотным беспилотным летательным аппаратом (Medium-altitude, Long-endurance (MALE) Remotely Piloted Aircraft (RPA)), которому удалось совершить трансатлантический перелет. Сегодня, в 6:51 утра по местному времени, беспилотник SkyGuardian совершил посадку на базе ВВС Фейрфорд в Глостершире, Великобритания, после полета, длиной в 3760 морских миль (6963 километра), в который он отправился, взлетев с полосы аэродрома в Гранд-Форкс, Северная Дакота, США. На то, чтобы пересечь Атлантический океан, беспилотнику потребовалось 24 часа и две минуты времени.

Полет SkyGuardian MQ-9B, в первую очередь, стал демонстрацией возможностей этого летательного аппарата, который является преемником известного беспилотника Reaper RPA. Командование британских ВВС уже планирует приобретение беспилотников MQ-9B, которые будут им поставляться под кодовым названием Protector RG Mk1.



Беспилотник SkyGuardian MQ-9B имеет размах крыльев 24 метра и приводится в движение турбовинтовым двигателем Honeywell TPE331-10. Он может поднимать в воздух груз, массой до 2155 килограмм, и имеет максимальную скорость в 210 узлов (389 километров в час). Беспилотник может находиться в воздухе непрерывно в течение 40 часов, находясь при этом на высоте до 12 200 метров.

"Трансатлантический перелет стал демонстрацией надежности и других способностей беспилотника SkyGuardian MQ-9B,

который может быть переориентирован для выполнения задач гражданского плана" - рассказывает Линден Блю (Linden Blue), президент компании GA-ASI, - "Этот полет стал результатом длительного процесса разработки, производства и испытаний летательного аппарата".

После совершения трансатлантического перелета беспилотник MQ-9B в качестве экспоната примет участие в выставке Royal International Air Tattoo, которая будет проходить с 13 по 15 июля этого года.