



## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

УДК 629.785

### ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ МОТОПЛАНЕРА TAURUS ELECTRO G2

**А. М. Павлов, И. И. Спиндзак, П. С. Егорова**

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

*Одним из перспективных направлений развития малой авиации является создание электрических самолетов, оснащенных высокоэффективными электрическими двигателями. Сегодня разработка подобных летательных аппаратов активно ведется во множестве западных стран: в США, Германии, Франции, Великобритании, Италии, Швейцарии, Чехии, Португалии, Словении, Китае и других. Очевидно, что электрические самолеты имеют определенные эксплуатационные отличия от самолетов с двигателем внутреннего сгорания. В рамках статьи рассмотрены особенности эксплуатации электрического мотопланера Taurus Electro G2, оснащенного электрической силовой установкой.*

*Ключевые слова:* электрический самолет, альтернативная энергетика, эксплуатация электрического самолета.

**Для цитирования:**

*Павлов А.М., Спиндзак И.И., Егорова П.С. Особенности эксплуатации электрической силовой установки мотопланера Taurus Electro G2 // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №3(18), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП. - 2018 – С.3-13. РИНЦ.*

### OPERATION OF ELECTRIC ENGINE OF MOTOR-GLIDER TAURUS ELECTRO G2

**A. M. Pavlov, I. I. Spindzak, P. S. Egorova**

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*In the article is shown an example of operation of electric motor-glider Taurus Electro G2 with an electric power plant.*

*Keywords:* electric aircraft, alternative energy, operation of electric aircraft.

**For citation:**

*Pavlov A.M., Spindzak I.I., Egorova P.S. «Operation of electric engine of motorglider Taurus Electro G2» // System analysis and logistics.: №3(18), ISSN 2007-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2018 – P.3-13.*

Одним из перспективных направлений развития авиационной техники является создание летательных аппаратов с электрическими силовыми установками. С каждым днем в этом направлении работает все больше и больше авиастроительных предприятий по всему миру: и небольшие частные компании, и крупные корпорации, такие как Bosch (подразделение General Aviation Technology, Австрия) и Siemens Corporate Technology (Германия) [2].

Наиболее известные самолеты из уже созданных и вставших на крыло: E-Fan 2.0 (AirbusGroup – VoltAir, Франция), Cri-Cri (EADS, Франция), Fuel Cell Demo (Boeing, США), Puffin (NASA, США), Skyhawk 172 (Cessna & Bye Energy, США), Elektra One (PC-Aero, Германия), E430 (Yuneec, Китай–Великобритания), Sonex (Sonex Aircraft & AeroConversions, США), SkySpark (Multiple Sponsors, Италия), Rapid 200-FC (ENFICAFС, Италия–Великобритания), Solar Impulse (Ecole Polytechnique Federale de Lusanne, Швейцария), Panthera Electro (Pipistrel d.o.o., Словения), Crossover (EuroSportAircraft), Sport Star EPOS (Evektor, Чехия); автожиры – Cavalon Electro (Autogyro GmbH, Германия); вертолеты – Firefly (Sikorsky, США), Volocopter VC200 (E-volo, Германия) [1, 2].



По этой причине известная ассоциация производителей авиатехники GAMA организовала Electric Propulsion Innovation Committee (EPIC) – комитет по инновациям в области электрических силовых установок [2].

Особенностям эксплуатации летательного аппарата с электрической силовой установкой на основе руководства по эксплуатации электрического мотопланера Taurus Electro [4] и посвящена настоящая статья.

### **Техническое описание мотопланера Taurus Electro**

Pipistrel Taurus Electro G2 – двухместный серийный мотопланер, оснащенный убирающимся электрическим двигателем, разработанный словенской авиастроительной компанией Pipistrel. Внешний вид планера представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Мотопланер TAURUS Electro G2 с выпущенным двигателем в полете [3]

Мотопланер выполнен по нормальной аэродинамической схеме со среднерасположенным крылом и Т-образным хвостовым оперением. Размах крыла – 14,97 м, длина – 7,3 м, аэродинамическое качество – 41, скорость сваливания (при выпущенных закрылках) – 63 км/ч, максимальная буксировочная скорость – 150 км/ч, максимально допустимая скорость – 225 км/ч, вес пустого ЛА (включая аварийную систему парашютного спасения) со стандартными аккумуляторами – 306 кг, максимальный взлетный вес – 550 кг [3].

Taurus Electro сертифицирован как сверхлегкий ЛА. Соответственно, выполнение маневров высшего пилотажа на нем запрещено. Мотопланер предназначен для полетов в дневных условиях согласно правилам визуального полета. Полет в условиях обледенения или дождя запрещен.

В связи с требованиями безопасности полетов запрещаются:

- полеты во время дождя;
- полеты во время грозы;
- полеты во время метели;
- полеты согласно правилам полета по приборам (ППП) или попытка полета в условиях нулевой видимости (метеоусловия полетов по приборам);
- полеты при достижении температурой наружного воздуха значения 40 °С и выше;
- хранение ЛА на улице во время дождя [3].

### **Техническое описание силовой установки**

На мотопланере Taurus Electro применен электромотор ELECTRO 40/30 с внешним ротором, установленный в верхней части убирающийся штанги двигателя. Компонировка силовой установки представлена на рисунке 2.

Двигатель представляет собой трехфазный синхронный двигатель с постоянными магнитами, высоким крутящим моментом и высоким КПД. Охлаждение двигателя осуществляется набегающим потоком воздуха. Технические характеристики силовой установки приведены в таблице 1.



Рис. 2. Компоновка силовой установки Taurus Electro G2

Следует отметить, что в руководстве по эксплуатации [4] мотоплана особо отмечено, что этот двигатель не сертифицирован для использования в авиации, – т.е., отсутствует гарантия, что он не откажет во время работы в любой момент полета без предупреждения [4].

Таблица 1- Технические характеристики двигателя ELECTRO 40/30

| Характеристика                                 | Параметр |
|--|----------|
| Максимальная взлетная мощность, кВт            | 40       |
| Максимальная продолжительная мощность, кВт     | 30       |
| Максимальная рабочая температура, °С           | 100      |
| Максимальная температура воздуха за бортом, °С | 40       |
| Максимально допустимые обороты, об/мин         | 2200     |
| Обороты двигателя при взлете, об/мин           | 2150     |
| Обороты двигателя при наборе высоты, об/мин    | 1900     |

Регулятор мощности помещен в фюзеляже в корпусе типа IP54 и охлаждается с помощью специальной системы. Управление этой системой осуществляется с помощью прибора управления электрической установкой, расположенного на приборной панели в кабине экипажа. На нем проецируются все необходимые параметры работы двигателя, а также обеспечивается возможность с помощью него осуществлять управление выпуском и уборкой двигателя [3].

Таблица 2 - Система управления двигателем. Регулятор мощности

| Характеристика   | Параметр |
|--|----------|
| Максимальная рабочая температура, °С                       | 75       |
| Рекомендуемая максимальная продолжительная температура, °С | 45–55    |

Управление двигателем осуществляется с помощью двух переключателей и одной поворотной ручки. Первый выключатель отвечает за включение/выключение системы, второй – за положение двигателя, т.е. за его выдвижение/уборку. Этот процесс полностью автоматизирован – пропеллер находится на своей позиции и сохраняет свое местоположение в то время, когда перемещается двигатель. Пилоту остается только выбрать желаемый режим с помощью переключателя. Поворотный регулятор необходим для управления тягой двигателя.

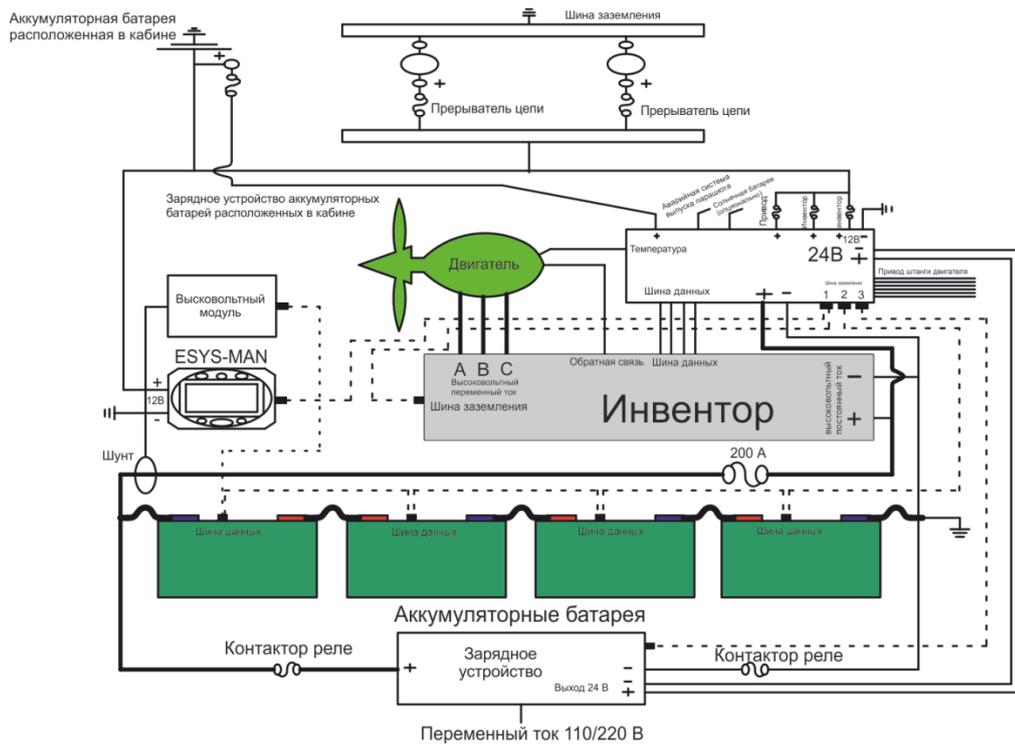


Рис. 3. Схема энергетической установки мотопланера TAURUS Electro G2 [4]

Система управления силовой установкой связана с системой контроля аккумуляторов и отображает информацию о величине оставшегося заряда, состоянии аккумулятора, а также контролирует процесс его зарядки. Все компоненты взаимосвязаны с помощью интерфейса CAN пользовательским протоколом [4].

### Техническое описание аккумуляторной батареи

Аккумуляторные батареи размещены в четырех металлических корпусах, содержащих аккумуляторные элементы, систему контроля заряда аккумуляторов, модули коммутации, кабели питания. Два корпуса размещены за перегородкой фюзеляжа, два – перед ней. В [4] отмечается, что перед каждым полетом необходимо проверять, чтобы все кабели (по два кабеля питания и по два кабеля шины CAN в каждой коробке) были тщательно закреплены.

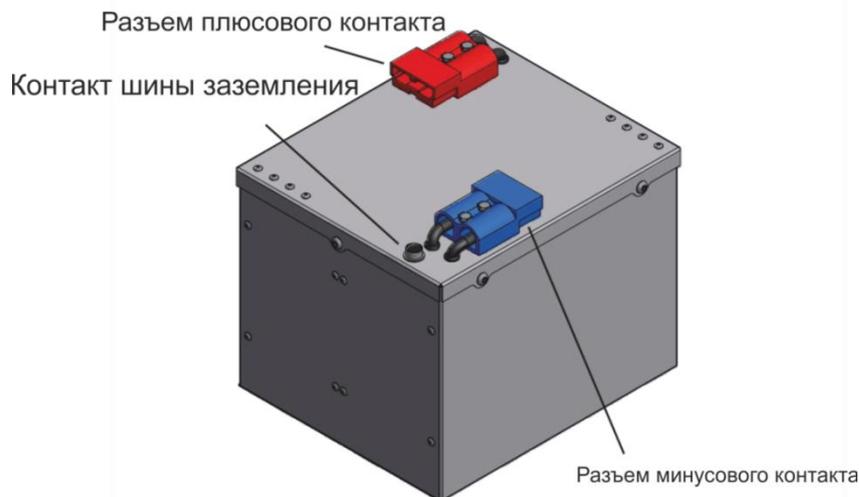


Рис. 4. Металлический корпус аккумулятора с разъемами [4]



Таблица 3 - Характеристики аккумуляторных источников энергии

|  |         |
|--|---------|
| Емкость аккумулятора (стандартная конфигурация), кВтч          | 4,75    |
| Емкость аккумулятора (добавочная конфигурация), кВтч           | 7,10    |
| Полезная емкость аккумулятора (стандартная конфигурация), кВтч | 3,8     |
| Полезная емкость аккумулятора (добавочная конфигурация), кВтч  | 5,7     |
| Максимальное напряжение, В                                     | 285     |
| Минимальное напряжение, В                                      | 204     |
| Рекомендуемый уровень напряжения для хранения, В               | 240–260 |
| Максимальная рабочая температура, °С                           | 70      |
| Минимальная температура при взлете, °С                         | 42      |
| Минимальная рабочая температура, °С                            | 5       |
| Допустимый уровень температуры для хранения, °С                | 10–40   |

В руководстве по эксплуатации мотопланера [4] отмечено, что воздействие температур ниже 10 °С приводят к уменьшению емкости аккумуляторных батарей. Кроме того, постоянно необходимо соблюдать рабочую температуру и температуру хранения, в противном случае возможно повреждение аккумуляторных батарей.

При хранении рекомендуется отключить красный (+) кабель питания на корпусе за отсеком кабины экипажа [4].

Для продления срока службы аккумуляторов не рекомендуется разряжать их ниже 20 % заряда. Таким образом, диапазон заряда при эксплуатации должен находиться в пределах 20–100 % заряда системы.

Также отмечено, что нельзя смешивать разные комплекты аккумуляторов. Продаваемые комплекты аккумуляторов фирмы «Pipistrel» обозначаются различными цветными точками для того, чтобы не перепутывать комплекты аккумуляторных батарей между собой [4].

### **Заряд аккумуляторов**

Зарядное устройство представляет собой специализированное устройство с мощностью зарядки 1,5 кВт. Время полной зарядки аккумуляторных батарей мотопланера варьируется от 30 мин до 7 часов, в зависимости от уровня заряда аккумулятора. Зарядное устройство является унифицированным и может быть подсоединено к любой электросети в 110 В и 240 В, 50 Гц или 60 Гц, а также к солнечной батарее. Зарядное устройство является переносным и может храниться на аэроплане в багажном отсеке [4].

Для зарядки аккумуляторных батарей необходимо подсоединить кабель к розетке, и затем подсоединить его другим концом к розетке в кабине экипажа. Далее необходимо переключить тумблер на правой стороне зарядного устройства в положение ON для включения питания. На экране заряда отображается меню. Используя кнопки на зарядном устройстве, требуется выбрать пункт FULL CHARGE (полностью зарядить аккумулятор для полета) или REST CHARGE (частично зарядить аккумулятор для хранения). Далее необходимо подтвердить свой выбор с помощью кнопки ОК. Зарядное устройство выберет вид заряда и начнет зарядку. Во время заряда, зарядное устройство взаимодействует с системой контроля аккумуляторов и регулирует напряжение в ячейках аккумулятора. Когда зарядка и регулировка завершены, на дисплее появится соответствующее сообщение. После этого можно безопасно отключить зарядное устройство. Для этого тумблер сбоку зарядного устройства необходимо перевести в положение OFF, после чего остается только отсоединить кабель от розетки в кабине экипажа [4].



Если мотопланер не используется, необходимо каждые 30 дней выполнять подзарядку аккумуляторных батарей. Для этого зарядку необходимо выполнять в режиме «REST CHARGE» зарядного устройства. После полета необходимо выполнять полную 24-часовую зарядку аккумулятора перед новым летным днем [4].

После выполнения полной зарядки аккумулятора с напряжением более 260 В требуется либо совершить полет, либо включить двигатель для разряда аккумулятора до рекомендуемого для хранения уровня 240–260 В [4].

### Система контроля аккумуляторов

Каждый корпус аккумулятора имеет свою собственную встроенную систему контроля, а также систему регулирования напряжения. Все эти системы связаны с ESYS-MAN, которая позволяет контролировать каждую ячейку аккумуляторных батарей по отдельности. В случае возникновения ошибки, индикатор ESYS-MAN выдаст сообщение (ошибочный код). В нормальных условиях система контроля аккумуляторов не требует вмешательства человека, так как это полностью автоматизированная система [4].



Рис. 5. Внешний вид индикатора системы ESYS-MAN [4]

Система ESYS-MAN создана для облегчения управления летательного аппарата. ESYS-MAN полностью управляет силовой установкой, включая тягу. Для защиты аккумулятора ESYS-MAN отключит питание (после предупреждения) при 10 % заряде аккумулятора. Оставшийся заряд будет использован для того, чтобы убраться двигатель, и для питания авиационного электронного оборудования [4].

### Приборная панель

Мотопланер TAURUS electro G2 имеет современную электронную приборную панель (рис. 6).

Кроме стандартных приборов приборная панель включает в себя магнитный компас, датчик скольжения, розетку на 12 В, рычаг управления вентиляцией кабины, рычаг управления выпуском и уборкой штанги двигателя, главный выключатель, предохранители, датчик температуры двигателя.

Сигналы, сообщения об ошибках, информационные сообщения ESYS-MAN выдает на экране в виде сообщений об ошибках (красного цвета) и информационных сообщений (белого цвета). Каждое сообщение должно быть подтверждено [4].

Возможные сообщения:

- «Высокая температура двигателя» – рекомендуется снизить мощность (двигатель горячий);
- «Высокая температура электронного регулятора хода» – рекомендуется снизить мощность (регулятор хода горячий);



- «Высокая температура аккумулятора» – рекомендуется снизить мощность и убрать двигатель (аккумуляторы горячие);
- «Низкая температура аккумулятора» – рекомендуется не использовать питание системы, есть опасность повреждения аккумулятора;
- «Заряд аккумулятора меньше 20 %» – рекомендуется при первой возможности убрать двигатель;
- «Аккумулятор разряжен» – рекомендуется немедленно убрать двигатель, иначе он будет убран автоматически;
- «Превышение времени полета» – рекомендуется выключить систему ESYS-MAN для исключения перегрева электронного регулятора хода.



Рис. 6. Приборная панель мотопланера TAURUS Electro G2 [4]

Таблица 4 - Маркировка приборов контроля работы двигателя

| Прибор                                 | Красная линия<br>(минимум) | Зеленая дуга<br>(норма) | Желтая дуга<br>(предупреждение) | Красная линия<br>(максимум) |
|--|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Тахометр (об./мин)                     | Не установлено             | 0–2150                  | 2150–2200                       | 2200                        |
| Температура системы управления (°C)    | Не установлено             | 5–55                    | 55–70                           | 70                          |
| Температура системы аккумуляторов (C°) | 5                          | 10–50                   | 50–70                           | 70                          |

### Предполетный осмотр силовой и энергетической установок

Предполетная подготовка призвана обеспечить выявление технических неисправностей для предотвращения авиационного инцидента, происшествия или даже катастрофы. В случае если состояние какой-либо детали не удовлетворяет соответствующим техническим требованиям, повреждение должно быть устранено до запуска двигателя.

Необходимо проверить, чтобы пропеллер вращался плавно, а ось двигателя не болталась. Аккумуляторные батареи, кабели и наружная проводка должны быть жестко закреплены, а предохранители должны находиться на месте и быть зафиксированы.

Также необходимо проверить приборную панель и приборы. Убедиться, что когда главный выключатель находится в положении «выключено», контрольные лампочки не горят, и все приборы выключены. А когда главный выключатель в положении «включено», контрольные лампочки горят, а приборы работают.



В таблице 5 приведена рекомендуемая периодичность осмотра силовой и энергетической установок.

Таблица 5 - Регламент осмотра силовой и энергетической установок мотопланера

|   | Периодичность        |                |          |           |           |           |            |             |
|---|----------------------|----------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|
|   | Ежедневно            | Первые 5 часов | 50 часов | 100 часов | 250 часов | 500 часов | 1000 часов | 10000 часов |
| Состояние винтов  | П                    |                |          |           |           | СП        |            |             |
| Электрические разъемы   | П                    | П              |          | СП        |           |           |            |             |
| <b>Двигатель</b>  |                      |                |          |           |           |           |            |             |
| Визуальный осмотр, чистота  | П                    |                |          |           |           | СП        |            |             |
| Проверьте, не болтается ли вал на оси, проверяйте главный подшипник двигателя каждые 10 часов работы двигателя                          |                      |                |          |           |           |           |            |             |
| <b>Регулятор мощности</b>   |                      |                |          |           |           |           |            |             |
| Проверяйте и очищайте охлаждающий трубопровод/теплоотвод перед каждым полетом   |                      |                |          |           |           |           |            |             |
| <b>Система накопления энергии</b>   |                      |                |          |           |           |           |            |             |
| Проводите поддерживающую подзарядку аккумулятора один раз в 30 дней. Полную зарядку следует выполнять в течение 24 часов перед полетом. |                      |                |          |           |           |           |            |             |
| <b>Электрическая проводка</b>   |                      |                |          |           |           |           | СП         | 3           |
| Провода и соединители приборной панели  | П                    |                | П        |           |           |           |            |             |
| Предохранители (приборная панель – автоматические)  | П                    | П              | П        | П         | П         | П         | П          |             |
| Предохранители (электрическая панель двигателя)   | П                    | П              |          |           | 3         |           |            |             |
| <b>Силовая установка (отсек, консоль двигателя)</b>   |                      |                |          |           |           |           | СП         | 3           |
| Плечо двигатель-пропеллер   | Перед каждым полетом |                |          |           |           |           |            |             |

Принятые обозначения: П – визуальная проверка; СП – проверка с привлечением специальных инструментов и приборов; 3 – замена.

#### **Регламент действий при возникновении нештатных ситуаций на борту мотопланера**

*Отказ двигателя во время взлета или начала набора высоты.* Необходимо перевести главный выключатель в положение «выключено», обеспечить соответствующую воздушную скорость путем опускания носа ЛА и посадить самолет в направлении взлетно-посадочной полосы [4].

*Отказ двигателя в полете.* В случае отказа двигателя на высоте, сначала необходимо убрать силовую установку и приготовиться к аварийной посадке, если условия не позволяют спланировать на аэродром. Следует отметить, что для уборки двигателя необходимо уменьшить скорость до 80 км/ч [4].



*Неисправность прибора управления электрической установкой.* При возникновении такой ситуации при убранном двигателе дальнейший полет продолжается «по-планерному». При выпущенном, но не работающем двигателе необходимо найти площадку для быстрого и безопасного приземления. При выпущенном и работающем двигателе рекомендуется не останавливать двигатель и совершить посадку на ближайшем аэродроме [4].

### **Пожар на борту мотопланера**

Следует заметить, что для тушения пожара на самолете следует применять безводные огнетушащие средства.

*Возгорание в двигателе на земле.* При обнаружении возгорания в двигателе на земле необходимо полностью остановить движение самолета. Немедленно перевести главный выключатель в положение «выключено» и выдернуть красный провод из аккумуляторного ящика для отключения системы питания двигателя. После чего необходимо покинуть самолет и приступить к тушению огня с помощью безводных средств [4].

*Возгорание двигателя в полете.* Необходимо остановить двигатель выпущенным и переключить главный выключатель в положение «выключено». Далее открыть раздвижные окна, включить все вентилирующие устройства и выполнить маневр скольжения на крыло в направлении, противоположном пламени, после чего выполнить аварийную посадку, после которой пилотам необходимо срочно покинуть летательный аппарат и по возможности приступить к тушению возгорания с помощью безводных средств [4].

*Возгорание в системе аккумуляторов.* При возгорании аккумуляторных батарей необходимо немедленно приземлиться и покинуть самолет как можно быстрее. Для тушения любого возгорания на самолете используйте с помощью безводных средств [4].

*Задымление в кабине.* При задымлении в кабине мотопланера необходимо остановить двигатель в выпущенном состоянии и переключить главный переключатель в положение выключено, после чего приземлиться как можно скорее. Также необходимо открыть раздвижные окна и включить все вентиляционные устройства для обеспечения нормального дыхания пилотов [4].

### **Заключение**

В рамках статьи представлено техническое описание энергетической установки мотопланера Pipistrel Taurus Electro G2, особенности его эксплуатации и мероприятия при нештатных ситуациях на борту.

К настоящему времени эксплуатируется множество электрических самолетов, мотопланеров и вертолетов, благодаря чему накапливается обширный опыт их эксплуатации и обслуживания. Благодаря этому создается практический задел для разработки более крупных многоместных пассажирских самолетов. В качестве примера таких работ можно отметить проект X-57, ведущийся специалистами НАСА [5]. Кроме того, имеется информация, что такие работы ведутся и в недрах ЦАГИ [6].



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World directory of Light Aviation/ Produced by Sport Aviation Press, Roy Beisswenger // WDLA 2016-2017: A special edition of Vol Moteur & Flugel magazine, produced in association with Pilot (UK), EAA, published annually by Fleing-Pages Europe sarl., Flying Pages GmbH, Mondial de l' Aviation, Hors-serie Vol Moteur, Flugel Welt-Index Ultraleicht & Flugzeug and Chinese Global Directory of Light Aviation. 2015. 290 p.
2. Планеры и мотопланеры на AERO-2017 / С. Арасланов // Авиация общего назначения: научно-технический журнал. – Харьков .№2. 2017. С. 18-31
3. Сайт производителя мотопланера Taurus Electro G2 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: Pipistrelusa.com (Дата обращения: 10.07.2017)
4. Flight manual and Maintenance manual applies to Taurus ELECTRO G2, Revision 2 (31st January, 2014) Pipistrel d.o.o. Ajdovščina, 2014
5. NASA: NASA's X-57 Electric Research Plane. — Режим доступа: <https://www.nasa.gov/image-feature/nasas-x-57-electric-research-plane>
6. В России приступили к созданию электросамолета [Электронный ресурс]. — Режим доступа: iz.ru (Дата обращения: 10.07.2018)

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Павлов Антон Михайлович** –

ассистент

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: Sa807@bk.ru

**Спиндзак Иван Иванович** –

ассистент

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: Spindzak@mail.ru

**Егорова Полина Сергеевна** –

студент

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: Sa807@bk.ru



## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Pavlov Anton Michailovich** –  
assistant

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
SUAI, 67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: Sa807@bk.ru

**Spindzak Ivan Ivanovich** –  
assistant

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
SUAI, 67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: Spindzak@mail.ru

**Egorova Polina Sergeevna** –  
student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
SUAI, 67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: Sa807@bk.ru