

## СЕКЦИЯ 1. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИКЕ

---

### ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПАЙКИ И ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОВОДОВ С ЦЕЛЬЮ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ИХ НАДЕЖНОСТИ В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Васильев И.С.\* Ефермов С.В.\* Ким В.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

\*Открытое акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева», г. Железногорск, Красноярский край

Одной из основных задач, стоящей перед разработчиками вновь проектируемых и изготавливаемых перспективных космических аппаратов (КА) является обеспечение максимально возможного уровня энергетических мощностей, направленных на решение целого спектра задач с минимальными потерями. При этом инженеру-проектировщику систем КА необходимо обеспечить максимальный уровень надежности, а также необходимую степень минимизации массы. Современные КА являются сложными техническими устройствами, выполняющие функции связи, навигации, метеонаблюдений, геодезии и многих других важных государственных задач. Для обеспечения решения данных задач необходим целый спектр оборудования, которое бесперебойно функционирует в жестких условиях космического пространства. С возрастанием количества выполняемых задач КА одновременно происходит увеличение его энергетических мощностей. Так за последние десять лет отечественные КА увеличили свою мощность более чем в 2 раза. Мощность современных КА изготавливаемых в открытом акционерном обществе «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева» (ОАО «ИСС») достигает до 15 кВт и эта величина не является предельной. Однако, с увеличением энергетической мощности происходит общее увеличение массы КА, так как устанавливается все большее количество функционального оборудования. Поэтому перед разработчиком КА также стоит задача в обеспечении всех возможных вариантов по уменьшению массы. Одним из основных направлений, обеспечивающих решение данной задачи, является экспериментальная отработка и последующая эксплуатация новых более легких материалов.

Для бесперебойного функционирования оборудования КА в условиях космического пространства необходимо обеспечить бесперебойную передачу электрической энергии от солнечной или от аккумуляторной батареи к бортовой аппаратуре. Для выполнения данной задачи на борту КА используется система бортовой кабельной сети (БКС КА). БКС КА является одной из основных систем, входящих в состав КА, и которая объединяет собой все электрические и электронные устройства КА. В результате БКС КА является одной из систем, которая существенно влияет на общую массу КА. В настоящее время масса БКС составляет 5...10 % от общей массы КА. В итоге обеспечение минимально возможной массы является одной из приоритетных задач.

В настоящее время для изготовления кабелей для КА используются медные посеребренные провода с фторопластовой или полиимидной изоляцией с подслоем фторопласта. До настоящего времени снижение массы данных проводов могло быть обеспечено лишь использованием более легкой и тонкой изоляции. Однако сегодня фактически достигнут возможный предел по данному направлению уменьшения массы.

В результате была поставлена задача по определению возможности эксплуатации проводов с более легким материалом токопроводящих жил. В результате было предложено решение по обработке проводов с алюминиевыми посеребренными жилами. Но внедрение данного решения влечет за собой ряд не решенных задач, одной из которых является обработка технологии пайки, обеспечивающей надежное электрическое соединений алюминиевых проводов (АП) с хвостовиком контакта соединителя.

Для решения данной задачи была проведена обработка технологии пайки АП. В качестве объекта испытаний были выбраны АП двух типоразмеров с сечением жил 0,336 и 0,597 мм<sup>2</sup>. Известно, что удельное электрическое сопротивление АП имеет большее значение около 62 % по сравнению с медной токопроводящей жилой [1]. Следовательно, для обеспечения эквивалентной величины электрической проводимости необходимо увеличение сечения токопроводящей жилы АП примерно на 62 % соответственно. В результате можно получить таблицу соответствия между стандартными рядами сечений медных проводов и АП.

**Таблица 1. Соответствие медных посеребренных проводов и АП**

Сечение медного провода, мм <sup>2</sup>	Масса медного провода, г/м	Мех. прочность при растяжении, Н/мм <sup>2</sup>	Сечение АП, мм <sup>2</sup>	Масса АП, г/м	Мех. прочность при растяжении, Н/мм <sup>2</sup>	Различие массы, %
0,2	2,51	55	0,336	1,76	40,32	42
0,35	4,03	60	0,597	2,72	71,64	48

Для проведения обработки пайки АП были выбраны три вида припоя и изготовлены три вида флюса, а именно:

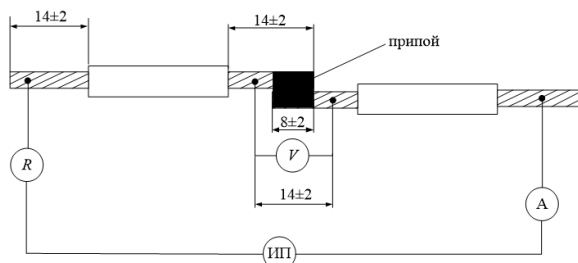
- Sn<sub>62</sub>Pb<sub>36</sub>Ag<sub>2</sub> иностранного производства и соответствующий требованиям [2] и имеющий температуру пайки 235 ± 5 °С. Данный припой содержит в себе флюсовый сердечник FLR 1%, длительность пайки составляет не более 5 секунд;
- ПсрОС 2-58 отечественного производства и соответствующий требованиям [3] и имеющий температуру пайки 235 ± 5 °С с длительностью пайки не более 5 секунд;
- ПсрОС 3-58 отечественного производства и соответствующий требованиям [3] и имеющий температуру пайки 240 ± 5 °С с длительностью пайки не более 5 секунд;
- флюсы ФВЦА, ФДГл, ЛТИ – 120, изготовленные в соответствии с требованиями [4].

Для проведения обработки пайки были изготовлены образцы АП длиной 50 мм, которые были запаяны внахлест между собой, а также отрезки АП длиной 100 мм, которые были запаяны в хвостовики соединителей. Пайка производилась с использованием различных сочетаний флюсов и припоев. В результате обработки пайки АП было изготовлено по 35 образцов соединений АП внахлест с каждым типоразмером провода, при этом на каждый вариант сочетания припойных материалов было отведено по 5 образцов. Общее количество соединений АП запаянных в хвостовики соединителей составило 268 образцов. После проведения пайки, полученные образцы подверглись испытаниям на прочность при растяжении и прошли проверку падения напряжения в области пайки до и после воздействия термовакуумных испытаний. Режимы термовакуумных испытаний были максимально приближены к реальным условиям космического пространства, а именно:

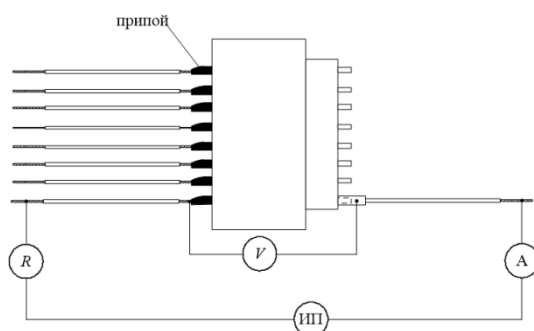
- атмосферное давление: 1,33·10<sup>-3</sup> Па (10<sup>-5</sup> мм рт. ст.);
- квалификационный диапазон температуры термоциклирования: от минус 120 до 110°С;
- скорость изменения температуры: ± 5...6 °С/мин;

- длительность выдержки при максимальной и минимальной температуре была не менее 15 минут;
- объем термоциклирования: 200 термоциклов.

Определение величины падения напряжения в соединениях АП запаянных внахлест и в хвостовики контактов соединителей выполнялось по схемам, указанным на рисунках 1 и 2.

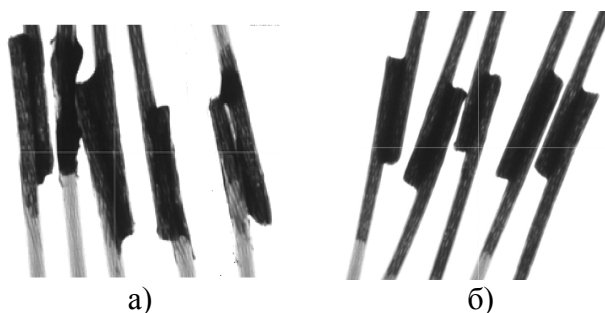


**Рис. 1.** Схема измерения падения напряжения в паянных соединениях АП внахлест



**Рис. 2.** Схема измерения падения напряжения в паянных соединениях АП в хвостовиках соединителей

Для определения качества паяных соединений внахлест был также использован неразрушающий метод рентгенконтроля с помощью полуавтоматической системы высокого разрешения РСВА-Analyser. Общий сравнительный вид полученных образцов с использованием припойных материалов иностранного производства и припойных материалов отечественного производства показан на рисунке 3



**Рис. 3.** Сравнительный вид полученных образцов соединений АП внахлест  
а) соединения АП с использованием припоя  $\text{Sn}_{62}\text{Pb}_{36}\text{Ag}_2$ ;  
б) соединения АП с использованием припоя ПСрОС2-58 и флюса ЛТИ-120

Как видно из приведенных фотографий пайка АП выполненная с использованием припойных материалов отечественного производства имеет лучшее качество. Однако не все отечественные флюсы также безупречно подходят для выполнения процедуры

пайки. Наилучшими результатами обладает паяные соединения АП с использованием припоя марки ПСрОС 2-58 и флюса ЛТИ-120, обладающими наилучшими свойствами технологичности и результатами испытаний.

По полученным результатам испытаний на падение напряжения и на механическую прочность при растяжении до и после термовакуумных испытаний было определено, что значения падения напряжения и механической прочности при растяжении близки между собой независимо от варианта сочетания припойных материалов за исключением иностранных материалов. Механическая прочность паяных соединений была выше прочности АП. Разрушение соединения происходило в случае иностранного припоя. Часть результатов испытаний паяных соединений приведена в таблице 2.

**Таблица 2.** Пример части результатов испытаний соединений АП внахлест до и после термовакуумных испытаний

№	Сечение АП, мм <sup>2</sup>	Вариант пайки	U <sub>пад</sub> , мВ	I, А	R, мОм	Мех. прочность, Н	Область обрыва
1	0,6	Sn <sub>62</sub> Pb <sub>36</sub> Ag <sub>2</sub> (FLR 1 %)	3,0	5,0	0,60	80,66	пайка
2			3,6		0,72	40,88	пайка
3*			4,8		0,96	64,61	пайка
4*			4,2		0,84	72,84	провод
6а		ПсрОС 2-58 (ФВЦА)	4,3		0,86	86,00	провод
7а			3,5		0,70	78,66	провод
8а*			3,8		0,76	81,55	провод
9а*			4,1		0,82	78,57	провод
6б		ПсрОС 2-58 (ФДГл)	2,4		0,48	84,35	провод
7б			2,4		0,48	80,39	провод
8б*			2,2		0,44	81,44	провод
9б*			3,0		0,60	70,74	провод
6в		ПсрОС 2-58 (ЛТИ – 120)	2,1		0,42	78,58	провод
7в			2,8		0,56	91,58	провод
8в*			2,7		0,54	84,77	провод
9в*			2,5		0,50	82,50	провод

\* – Результаты испытаний после проведения 200 термоциклов

Для окончательного определения возможности эксплуатации АП в БКС КА необходимо провести ряд дополнительных испытаний, включающих в себя более широкий спектр воздействий, таких как воздействие механических и вибрационных нагрузок, климатических воздействий и термовакуумных испытаний под токовой нагрузкой с выполнением не менее 500 термоциклов в квалификационном диапазоне температур от минус 120 до 110 °С. В результате проделанной работы будет подтверждена возможность эксплуатации АП в определенных участках БКС КА в условиях открытого космического пространства в течение 15 и более лет, что обеспечит уменьшение массы КА, позволит увеличить массу полезной нагрузки с последующим расширением выполняемых задач и повышением энергоэффективности КА.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. 2-е изд. – М.: Мир, 1985. – 520 с., ил.
2. ECSS-Q-70-71A. Space product assurance. Data for selection of space materials and processes. European cooperation for space standardization. 2004. – 222 p.

3. ГОСТ 19738-74. Припой серебряные. Марки. Введ. 1975-01-01. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1975. 7 с.
4. ОСТ 4Г 0.033.200. Припой и флюсы для пайки. Марки, состав свойства и область применения. Введ. 1980-01-01. Ред. 1-78. – М.: Радиостандарт-ЦНИИРЭС.2011,131 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО БЛОКА СИСТЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ**

Трофимов В.В., Пашали Д.Ю.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

Согласно статистике Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) около 17,5 миллионов людей ежегодно умирают от сердечно-сосудистой патологии, что составляет 30% от всех смертей. Разработка аппаратов для искусственного кровообращения (далее АИК) и их функциональных узлов с повышенной надежностью и быстродействием является актуальной научно-технической задачей.

К современному АИК предъявляют следующие основные требования:

- АИК должен надежно поддерживать на протяжении всей перфузии заданный минутный объем кровообращения в организме (порядка 4÷5 литров для взрослого больного) и заданную температуру циркулирующей крови;
- оксигенатор должен обеспечивать адекватную артериализацию крови (насыщение ее кислородом не ниже чем до 95% и поддержание рСО<sub>2</sub> на уровне 35÷45 мм. ртутного столба);
- объем заполнения АИК должен быть небольшим (не более трех литров при перфузии взрослых больных);
- АИК должен быть снабжен устройством для возврата в циркуляторный контур крови, изливающейся из вскрытых полостей сердца и поврежденных тканей;
- травма крови в АИК должна быть минимальной (не более 40 мг/л свободного гемоглобина плазмы за первый час перфузии);
- физиологически блок АИК должен изготавливаться из нетоксичного материала, химически инертного по отношению к крови;
- конструкция АИК должна обеспечивать возможность очистки и стерилизации в условиях клиники.

Любой АИК состоит из двух блоков: физиологического и механического. К физиологическому блоку относятся все детали, соприкасающиеся с кровью.

Механический блок состоит из электрического привода, содержащего систему управления и электрический двигатель.

Авторами разработан электромеханический блок (ЭМБ) геосовместимых систем вспомогательного кровообращения (ГСВК) имплантируемого подключения, который включает (рис. 1): высокоскоростной вентильно-индукторный двигатель (ВВИД); насос крови (НК); систему управления, контроля и диагностики состояния, располагаемую на поясе пациента и соединенную с ЭМБ токоподводящим кабелем; источник питания, располагаемый на поясе пациента; резервный источник питания, на базе генератора возвратно-поступательного движения, позволяющий повысить надежность конструкции.