

## **НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Прошло без малого 40 лет с того момента, когда впервые в СССР на космическом аппарате «Метеор», разработанном во ВНИИЭМ под руководством А.Г. Иосифьяна, была применена система ориентации солнечных батарей (СОСБ). Позже эффективность использования СОСБ в составе служебных систем КА стала общепризнанным фактом, и за прошедшие годы во ВНИИЭМ по заказу ведущих предприятий космической отрасли страны, а также для КА собственной разработки было выполнено более десятка проектов СОСБ, доведенных до стадии изготовления, отработки, наземной и штатной эксплуатации (табл. 1). Наиболее удачными из них следует признать системы 5А59 для КА 73Х6 и системы 52В6 для КА 73Д6, разработанные по заказу НПО имени С.А. Лавочкина. Эти системы были освоены в серийном производстве и обеспечили надёжную и успешную эксплуатацию многих космических аппаратов.

За последнее десятилетие проявилась и получила широкое распространение тенденция по созданию так называемых «малых» космических аппаратов и универсальных космических платформ, для комплектации которых потребовались СОСБ нового поколения со значительно улучшенными массогабаритными характеристиками и характеристиками собственного энергопотребления. Заказы в НПП ВНИИЭМ на разработку СОСБ нового поколения были получены от ГКНПЦ имени М.В. Хруничева для КА «Монитор-Э», КА «Диалог» и КА «KazSat», от НПО машиностроения для КА «Кондор-Э», от НПО имени С.А. Лавочкина для КА «Электро-Л» и КА «Спектр-Р». К новому поколению СОСБ следует отнести также систему 830, предназначенную для использования в составе КА «Метеор-М», проектируемого во ВНИИЭМ.

Характеристики СОСБ нового поколения приведены в табл. 2.

В табл. 1 и 2 использованы следующие условные обозначения: БУ – блок управления, ЭМБ – электромеханический блок, БДС – блок датчиков Солнца, БКУ – бортовой комплекс управления.

Отметим основные принципиальные решения, позволившие разработчикам выйти на новый требуемый уровень характеристик СОСБ.

Таблица 1

## Система ориентации СБ 1965 – 1995 гг.

Космический аппарат	Метеор-1	73Д6	Электро (изд. 652)	Гамма - модуль ДОС «Мир»	71Х6 (Купон)
Модель СОСБ	230	5А59	430	Е10	52В6 В52К
Состав СОСБ: блок (количество блоков)	БУ(1) ЭМБ(1) БДС(2)	БУ(2) ЭМБ(1) БДС(4)	БУ(1) ЭМБ(1) БДС(4)	БУ(2) ЭМБ(2)	БУ(2) ЭМБ(2) БДС(2)
Управление	по сигналам БДС	по сигналам БДС	по сигналам БДС	по командам БКУ	по сигналам БДС
Скорость вращения СБ, °/с	0,35	0,001 0,02 0,3	0,14	0,6	0,0016 0,022 0,3
Момент инерции СБ, кг·м <sup>2</sup>	1400	1650	2300	185×2	40×2
Максимальный угол поворота, °	210	520	90	360	без ограничения
Погрешность ориентации СБ, °	11,5	6,0	90,0	1,0	3,0
Потребляемая мощность, Вт	50	100 (поиск) 50(слежение)	50	18	25 (поиск) 8(слежение)
Масса СОСБ (ЭМБ), кг	54(40)	53(40)	37(26)	119(49×2)	50(17×2)
Ресурс, ч	10000	5000	20000	10000	60000

Прежде всего следует обратить внимание на тот факт, что новые СОСБ, разрабатываемые по заказу других организаций, не являются автономными в процессе слежения за Солнцем в отличие от почти всех ранее выполненных разработок. Автономность СОСБ в ранее выполненных разработках обеспечивалась наличием в составе системы датчиков Солнца, по сигналам которых в системе формировалось управляющее воздействие на электропривод системы и жёстко связанные с валом электропривода панели солнечных батарей.

Таблица 2

## Новое поколение систем ориентации СБ

Космический аппарат	Монитор-Э	Кондор-Э	Электро-Л	Спектр-Р	Метеор-М
Модель	У10	Р10	Э10	Э10×2	830
Состав СОСБ: блок (количество блоков)	БУ(1) ЭМБ(2)	БУ(1) ЭМБ(4)	БУ(1) ЭМБ(1)	БУ(2) ЭМБ(2)	БУ(1) ЭМБ(2) БДС(4)
Управление	по командам БКУ	по командам БКУ	по командам БКУ	по командам БКУ	по сигналам БДС
Скорость вращения СБ, °/с	0,57	0,25 0,75	0,25	0,25	0,3
Момент инерции СБ, кг·м <sup>2</sup>	4	125 7	13	17,25×2	40
Максимальный угол поворота, °	без ограничения	180-240	без ограничения	без ограничения	120
Погрешность ориентации СБ, °	3,5	2,0	3,5	3,5	2,0
Потребляемая мощность, Вт	15	20	10	20	20
Масса СОСБ (ЭМБ), кг	17,0 (7,0×2)	21,5 (5,25×2+ 4,0×2)	12,0 (9,3)	24,0 (9,3×2)	16,0 (4,5×2)
Ресурс, ч	10000	9700	5000	20000	10000

Такое построение давало возможность при высокой вероятности безотказной работы реализовать основную функцию СОСБ по энергообеспечению КА в нештатных ситуациях при нарушениях в работе бортового комплекса управления.

Однако, учитывая достигнутый уровень надёжности бортового комплекса управления, заказчики СОСБ посчитали возможным отказаться от автономного принципа управления СОСБ в пользу программного управления, при котором положение панелей СОСБ изменяется в соответствии с командами бортового комплекса управления на основе информации, имеющейся в его распоряжении. В данном случае правильно оценивать работу СОСБ следует по выполнению команд, поступающих на вход системы из бортово-

го комплекса управления, а в целом оценка качества ориентации панелей солнечных батарей должна проводиться с учётом правильности целеуказания, вырабатываемого в бортовом комплексе управления. При отказе от автономного принципа ориентации панелей солнечных батарей и переходе к использованию программного способа управления удалось уменьшить массу СОСБ примерно на 2,5 кг.

Исключением из общепринятого подхода в вопросе управления является СОСБ КА «Метеор-М», где разработчики сохранили проверенный на практике принцип автономности. Здесь проявленный консерватизм оправдывает себя снижением степени риска в случае возникновения нештатных ситуаций в бортовом комплексе управления и снижением затрат на разработку и отработку программно-аппаратного обеспечения.

Основная новизна всех СОСБ нового поколения, разрабатываемых в НПП ВНИИЭМ, проявилась в применении в составе систем малогабаритных электроприводов с двухфазным шаговым электродвигателем. Масса этих электроприводов доведена до 5–7 кг, что существенно ниже массы электроприводов первых разработок СОСБ. Помимо этих преимуществ, связанных со снижением массы, можно отметить также, что применённые шаговые электродвигатели достаточно просты в управлении.

Управление шаговых электродвигателей обеспечивается с помощью полупроводниковых преобразователей, включённых в состав блоков управления СОСБ. Требуемому в процессе работы СОСБ направлению движения вала электропривода соответствует прямой или обратный порядок коммутации фаз двигателя, реализуемый в полупроводниковом преобразователе. При этом фазные обмотки статора двигателя запитываются импульсным напряжением (током), и от каждого импульса ротор двигателя совершает шаг – поворот на угол  $1,8^\circ$ . Частота коммутации фаз (частота шагов) от 100 до 500 1/с. При указанном значении частоты коммутации фаз, шаге ротора двигателя  $1,8^\circ$  и понижающем передаточном числе редуктора электропривода от 360 до 1800 скорость выходного вала электропривода в разных СОСБ составляет от 0,25 до 1,5 °/с. Определённая особенность в управлении шаговым электроприводом, состоящая в необходимости обеспечивать плавный разгон и выход на установившийся скоростной режим движения, минуя частоты, совпадающие с частотами собственных колебаний ротора (резонансные частоты), не потребовала заметных затрат для программно-аппаратных средств бортового комплекса управления и блока управления СОСБ.

Новым в электроприводах СОСБ, обеспечивающих неограни-

ченный поворот панелей солнечных батарей и транзитные электрические связи между панелями солнечных батарей и системой энергообеспечения КА, является кольцевой токосъёмник, разработанный в НИИ ВНИИЭМ. В отличие от применявшихся ранее кольцевых токосъёмников разработки НПО имени С.А. Лавочкина, довольно дорогих и трудоёмких в производстве, в новом кольцевом токосъёмнике за счёт использования последних достижений в области материалов контактных пар и внедрения оригинальных конструктивных решений, снижены затраты на изготовление и обеспечен стабильный технологический процесс производства. Ресурсными испытаниями при пониженном атмосферном давлении и нагружении силовых цепей токосъёмника токами до 30А подтверждены требования по надёжности, предъявляемые к этому устройству.

К настоящему моменту полностью завершены отработочные и комплексные испытания СОСБ для космических аппаратов ГКНПЦ имени М.В. Хруничева и завершены работы 1-го этапа по отработке СОСБ для космических аппаратов НПО машиностроения. Результаты планируемых в ближайшее время лётных испытаний КА «Монитор-Э» и результаты отработочных испытаний СОСБ других моделей позволят подвести окончательные итоги в работе по созданию нового поколения СОСБ.