

КОСМИЧЕСКАЯ ПРЕЦИЗИОННАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

В.Я. Авербух

Представлена история создания электрооборудования космических аппаратов и ракет-носителей.

Ключевые слова: *электромашинные преобразователи, статические преобразователи, многоконтактные реле, гистерезисный двигатель, синхронные двигатели, микроэлектродвигатели постоянного тока, бесконтактные двигатели постоянного тока, двигатель-маховик, гиросиловой стабилизатор, системы ориентации солнечных батарей.*



ВНИИЭМ с 1946 г. начал проводить исследовательские и опытно-конструкторские работы по бортовому электрооборудованию ракет. Первые разработки были проведены на основании исследования образцов трофейной техники и завершились созданием конструкций регулируемых электрических машин, коммутационной аппаратуры, специальных двигателей, чувствительных элементов рулевых машин, которые легли в основу отечественного сильноточного оборудования всех без исключения баллистических ракет Советского Союза.

Уже на первой серии ракет Р-1, испытания которых проводилось в 1947 г., было установлено оборудование, приведённое в табл. 1. Номенклатура электротехнических изделий, поставляемых ВНИИЭМ для баллистических ракет, была чрезвычайно широкой. На всех последующих модификациях ракет, включая Р-7 (гагаринскую), номенклатура изменяется мало.

Для разработки и производства ракет в начале 1950-х гг. был определён ряд организаций, и назначены главные конструкторы по направлениям. С.П. Королёв как главный конструктор ракет был назначен председателем Совета Главных конструкторов. А.Г. Иосифьян вошёл в этот совет как ответственный за электрооборудование, а возглавляемый им институт (ВНИИЭМ) в дальнейшем стал головной организацией по разработке бортового электротехнического оборудования ракет.

На борту ракет использовались химические источники постоянного тока низкого напряжения в 24 и 27 В, а различные системы надо было питать током высокого напряжения или переменным током определённой частоты. Для этого потребова-

лись различные преобразователи, создание которых стало одной из важных задач института.

Долгое время в космической технике в качестве вторичных источников электропитания использовались высокоскоростные электромашинные преобразователи с малогабаритными транзисторными регуляторами частоты и напряжения.

В начале 1950-х гг. для питания аппаратуры систем управления ракет трёхфазным током частотой 500 Гц были разработаны двухмашинные однокорпусные преобразователи постоянного тока в переменный мощностью 180 и 600 В·А с частотой вращения 7500 об/мин. В 1952 г. был создан электромашинный преобразователь ПТ-200 мощностью 200 В·А с частотой вращения 15 000 об/мин с кварцевым регулятором частоты, позволившим поднять точность стабилизации частоты с 0,2 до 0,05 %, что имело большое значение для обеспечения точности работы бортовых гироскопов. Этот преобразователь использовался при запусках первых спутников и кораблей «Восток».

В дальнейшем была разработана серия преобразователей ПТ-500, ПТ-1000, ПТ-1500, ПТ-3500 с частотой вращения 15 – 20 тыс. об/мин мощностью 500, 1000, 1500, 3500 В·А и улучшенными массоэнергетическими характеристиками. На борту ракеты Р-7 было установлено двенадцать 1000-герцовых преобразователей.

Эти работы были выполнены Л.М. Паластиним, А.И. Чесноковым, В.Г. Константиновым, Л.Т. Свиридовым, А.П. Толмасовым, Н.Я. Альпером, В.М. Лурье, Б.М. Каганом, Л.М. Дубинским, Г.А. Стамбуляном, А.К. Голдобенковым, А.М. Платоновым, А.И. Мельниковым, Ю.А. Покатиловым и др.

Бортовое оборудование ракеты Р-1 разработки ВНИИЭМ

Обозначение прибора	Прибор	Основные технические характеристики
УФ-1 + СЧ1	Машинный преобразователь постоянного тока в переменный с регулятором частоты	Первичное напряжение 27 В, вторичное – 40 ± 2 В, $50 \pm 1,5$ Гц, ток 2,1 А
УФ-2 + СЧ2	Машинный преобразователь постоянного тока в переменный с регулятором частоты	Первичное напряжение 27 В, вторичное – 40 ± 2 В, 500 ± 1 Гц, ток 7,2 А
УФ-3	Комплект машинного преобразователя постоянного тока в трёхфазный переменный	Первичное напряжение 27 В, вторичное трёхфазное – 40 ± 2 В, $500 \pm 0,05$ Гц, мощность 0,6 кВт
УФ-4	Комплект машинного преобразователя постоянного тока в трёхфазный переменный с коммутатором точных импульсов	Первичное напряжение 27 В, вторичное трёхфазное – 40 ± 2 В, $500 \pm 0,25$ Гц, импульсы постоянного тока с частотой 45 Гц
РРМ-1	Поляризованное реле для управления золотниковыми механизмами гидравлических рулевых машин	Напряжение 27 В
8С-1	Электромагнитное промежуточное реле	2 контакта на ток 40 А каждый
8С-2	Электромагнитное промежуточное реле	2 контакта на ток 25 А каждый
8С-3	Электромагнитное промежуточное реле	6 контактов на ток 10 А каждый
8С-5	Электромагнитное промежуточное реле	10 контактов на ток 6 А каждый
10-С	Электромагнитный однополюсный контактор	1 контакт на 100 А
РМ-1	Электродвигатель рулевых машин	2300 – 2600 об/мин, момент на валу 800 г·см
ПТР-1	Электродвигатель для приводов с центробежным регулятором скорости и контактором 10С	Мощность на валу – 12 Вт, 3000 ± 1 % при изменении напряжения в пределах 22 – 30 В
ДУ-12	Электродвигатель управления двигательной установкой с центробежным регулятором скорости	Мощность на валу – 12 Вт, 3000 ± 1 % при изменении напряжения в пределах 22 – 30 В
РП-1/1106	Потенциометр для работы в системе управления ракеты	Диапазон углов поворота $\pm 48^\circ$
ТМ-1	Привод с редуктором, реле 8С и электромагнитным тормозом	Диапазон углов поворота $\pm 67^\circ$
СНО-12,5	Комплект аппаратуры для регулирования напряжения трёхфазного генератора мощностью 10 кВт, частотой 50 Гц	Точность регулирования $\pm 2\%$ при изменении нагрузки от 0 до 10 кВт
СНО-37,5	Комплект аппаратуры для регулирования напряжения трёхфазного генератора мощностью 30 кВт, частотой 400 Гц	Точность регулирования $\pm 1,5\%$ при изменении нагрузки от 0 до 30 кВт

Развитие инверторов, не имеющих вращающихся частей и более надёжных, имело большое значение для ракетно-космической техники.

В институте были заложены научные и технические основы разработки статических преобразователей постоянного тока в переменный, которые заменили полностью машинные преобразователи. Применение статических преобразователей существенно повысило надёжность прибора, сократило время готовности системы электропитания к пуску, повысило на 20 – 40 % КПД, повысило точность поддержания выходных параметров, позволило обеспечить длительность возможной эксплуатации до 20 лет.

Первыми статическими многофазными преобразователями, внедрёнными в производство в 1960 г., были преобразователи 8Л1289М и 8Л1290 (мощность 800 и 200 В·А). Преобразователь 8Л1289М, выполненный с резервированием элементов и узлов, имел

хорошую по тем временам удельную мощность (57 В·А/кг), а преобразователь 8Л1290 обеспечивал высокую стабильность частоты ($\pm 0,02\%$).

В 1961 г. были разработаны преобразователи со стабилизацией напряжения ПТС-100 и 8Л10102М (мощность 100 и 500 В·А), а в 1966 г. преобразователь 15Л1192 (мощность 1000 В·А) с низким (8%) коэффициентом высших гармоник, который имеет удельную мощность 64 В·А/кг и используется на ракете-носителе «Союз».

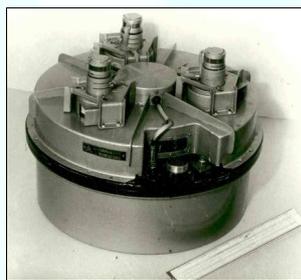
В 1970 г. был разработан для долговременной орбитальной станции «Алмаз» крупный преобразовательный комплекс, объединяющий в себе преобразователи с различными частотами и напряжениями, задающими генераторами, блоком конденсаторов и фильтров и устройством автоматического перехода на резервные комплекты.

Всего за период с 1958 по 1978 гг. для различных космических объектов было создано более 30 типов инверторов и преобразовательных комплексов. Статические преобразователи разработки ВНИИЭМ установлены на межконтинентальных ракетах и ракетах средней дальности, ракетах-носителях «Протон» и «Союз», спутниках серии «Восток», «Восход», «Молния», «Метеор» и др.

Возглавлял коллектив разработчиков В.Г. Константинов, активно участвовали в создании статических преобразователей А.П. Толмасов, Л.А. Пронько, В.В. Белостоцкий, О.И. Шустер, В.С. Яшунский, Н.Н. Шереметьевский, Ф.С. Семин, И.Б. Лащивер, А.И. Мельников и др.

На первой советской ракете были использованы многоконтактные реле 8Э11 – 8Э14.

При разработке более мощных отечественных ракет оказалось, что эти реле давали ложное срабатывание при воздействии вибраций, а при воздействии значительных линейных ускорений иногда и вовсе не срабатывали. В связи с этим возникла проблема соз-



**Преобразователь
11Л192К РН «Союз»**



**Преобразователь
8ЛО138М РН «Протон»**

дания многоконтактных реле для ракетной техники, обладающих высокой устойчивостью к внешним механическим воздействиям. Они должны были сохранять работоспособность при воздействии линейных ускорений до 100 g, вибраций с частотой до 200 Гц и амплитудой ускорений до 10 g, ударах с ускорением до 150 g. В середине 1950-х гг. была разработана серия реле 8В и 8М на токи от 1 мА до 50 А и количеством контактов от 4 до 12.



**Двухмашинный
преобразователь ПТ-200**



Преобразователь ПТ-1500



Преобразователь ПТ-3500



ПУ-1, ПУ-2



ПТС-450



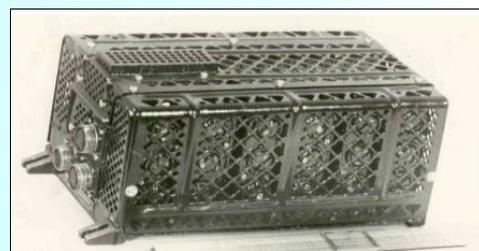
БКФ



ЗГ-1



ПТС-250

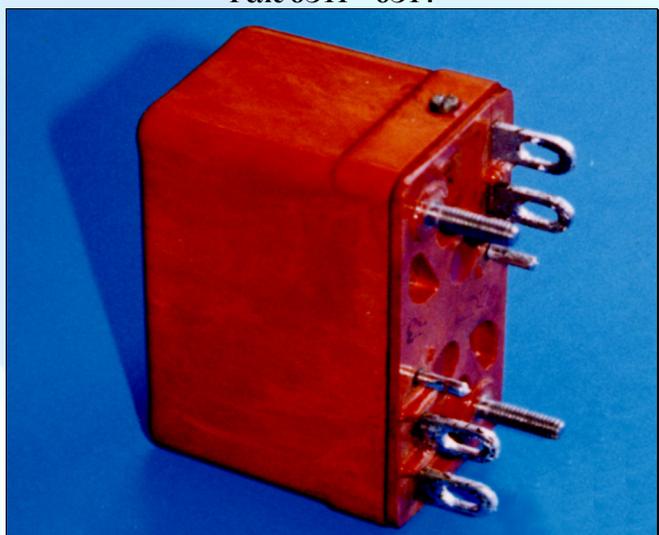


ПТС-100

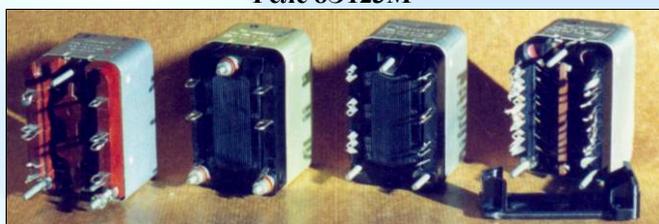
Комплект преобразователей орбитальной станции «Алмаз»



Реле 8Э11 – 8Э14



Реле 8Э123М



Реле 8М



Реле РНЕ



Контакты КНЕ

Серия реле 8М выпускалась более 25 лет и стала базовой основой для разработки новых серий реле РНЕ и контакторов КНЕ и КНИ, которые выпускаются и в настоящее время.

Разработанные в начале 1960-х гг. малогабаритные реле 8Э122 используются в системе терморегулирования скафандров космонавтов, а реле 8Э123, которые при весе 70 г способны коммутировать суммарный ток до 80 А, были установлены на луноходе, а в настоящее время используются на целом ряде ракет-носителей и разгонном блоке «Фрегат».

Основными разработчиками контактной аппаратуры являлись Р.С. Кузнецов, В.Т. Нежданов, Б.Я. Жезмер, Н.И. Корбаль, В.А. Бронный, Ю.Г. Селянинов, А.И. Прусс, А.А. Голдобенков, Г.И. Ионов, Р.М. Соснер, И.Н. Ермолаев, Е.А. Меевич и др. В начале 1952 г. во ВНИИЭМ был создан первый в СССР гистерезисный двигатель, который развивал больший момент, чем существовавшие до этого синхронные двигатели тех же размеров. Уже в 1953 г. был разработан гистерезисный гиromотор ГМ-1, на базе которого был создан первый гироскоп ГС-4/30. В 1957 г. во ВНИИЭМ была разработана серия синхронных гистерезисных двигателей мощностью от 1 до 60 Вт на частоту 50 Гц в однофазном и трёхфазном исполнении с частотой вращения 1500 и 3000 об/мин, и начат их серийный выпуск. Серия состояла из четырёх габаритов и включала 24 исполнения. В те же годы для приводов программных устройств систем управления баллистических ракет были разработаны малогабаритные электродвигатели на частоту 1000 Гц со встроенными редукторами (ГР106 и ГР206), а также синхронные электроприводы с перевозбуждёнными гистерезисными двигателями, разработанные под руководством В.К. Тихомирова.

В дальнейшем были разработаны гистерезисные двигатели для различных приборов систем управления космических аппаратов (Г212, Г357, Г218, ГХ-225) и для устройств бортовой магнитной записи, систем ориентации и телеметрии (Т16, Г227, Г228, Г229, Г235, ДСГ-1, ДВ). Разработчиками этих двигателей были Н.Я. Альпер, И.И. Горжевский, А.В. Болдышев и др.

Одновременно с разработками гистерезисных двигателей разрабатывались синхронные двигатели с постоянными магнитами. Двигатель АС-032, разработанный ещё в 1952 г., используется и в настоящее время.

С 1961 г. началась разработка комплектных устройств, соединяющих в себе синхронный гистерезисный электродвигатель и транзисторный преобра-

зователь напряжения. Реализация в этих устройствах принципа перевозбуждения двигателя в процессе запуска позволила заметно снизить энергопотребление и нагрев двигателя и существенно увеличить срок службы. Созданные на этой основе электроприводы нашли широкое применение на ИСЗ типа «Метеор», «Ресурс», транспортных кораблях «Союз». Такой привод применён в первом спускаемом аппарате межпланетной автоматической станции «Марс», а малогабаритный синхронный привод МСП-1 был использован в цветной телевизионной камере, которой пользовался экипаж советского корабля «Союз-Аполлон» при совместном полёте.

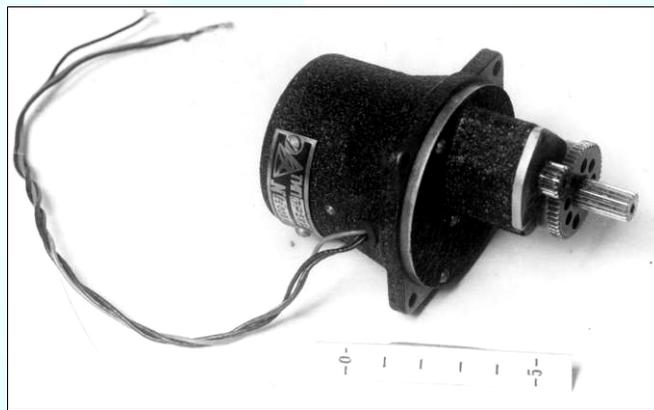
В период с 1956 по 1960 гг. во ВНИИЭМ была разработана серия микроэлектродвигателей постоянного тока ДПМ. В серию вошли машины четырёх габаритов исполнения мощностью от 3 до 22 Вт на напряжение от 6 до 27 В с частотой вращения от 2000 до 9000 об/мин. В пределах каждого габарита было создано 30 – 40 различных исполнений. Годовой объём выпуска достигал 250 тыс. шт.

Чрезвычайно перспективным и важным направлением стали так называемые бесконтактные двигатели постоянного тока (БДПТ), которые практически полностью заменили ранее применяемые в космической технике коллекторные двигатели.

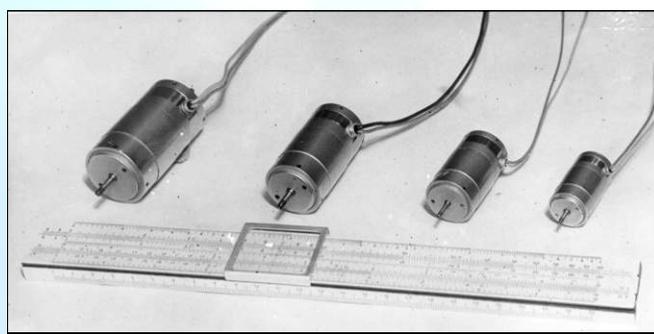
Первые в нашей стране БДПТ типа БП-203, БП-251 и БПС-202 были разработаны во ВНИИЭМ в 1961 г. для системы терморегулирования спутников «Молния». Двигатель БПК-401 с дублированным коммутатором в общем корпусе был разработан для кислородного нагнетателя скафандра космонавта.

Бесконтактные электродвигатели типа БК-1, БК-2, ДБ различных модификаций успешно применяются в приводах вентиляторов и гидронасосных агрегатов систем жизнеобеспечения и терморегулирования различных КА и кораблей «Союз», «Прогресс», космических станций «Салют», «Мир», МКС, скафандров космонавтов. Они используются в составе насосов для перекачки горячей щёлочи в насосах электрохимических источников тока, обеспечивают функционирование компрессоров микрокриогенных установок, ряда приборов и систем автоматизированных технологических комплексов. Только на орбитальной станции «Мир» было установлено более ста таких электродвигателей.

Бесконтактные электродвигатели постоянного тока типа БК-1, БК-2, ДБ предназначены для применения в составе научной и служебной аппаратуры КА, других технических средств с высокой надёжностью и длительным сроком службы. Основными узлами двигателей являются ротор с постоянными магнитами, статор с обмотками и датчика-



Синхронный гистерезисный двигатель со встроенным редуктором типа ГР-206



Микроэлектродвигатель ДПМ



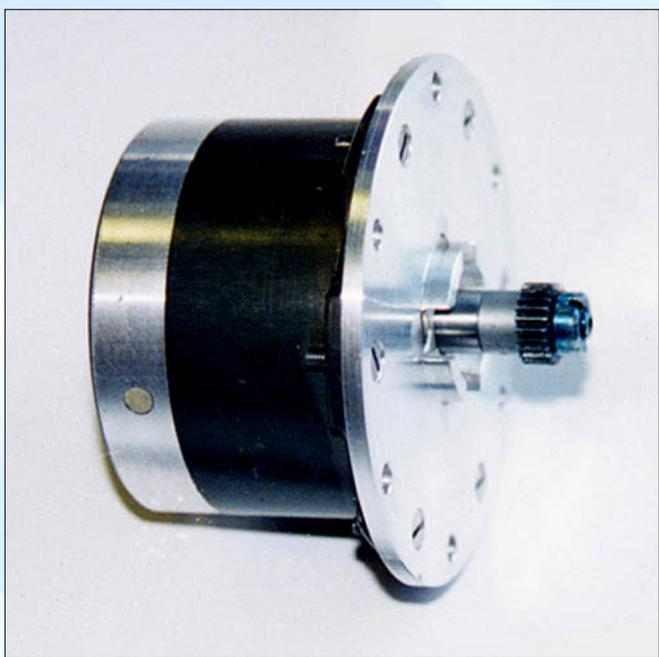
Бесконтактные электродвигатели постоянного тока серии БК



Бесконтактный электродвигатель ДБ50-10 без датчиков Холла с пониженным уровнем шума для системы терморегулирования (СТР) международной космической станции



Бесконтактный электродвигатель ДБ64-90-6ГА без подшипниковых опор для электронасосных агрегатов СТР МКС



Гибридный шаговый двигатель ДШГ-1,8-01



Двигатель-маховик

ми положения ротора на эффекте Холла, полупроводниковый коммутатор (встроенный для двигателей БК-1 и БК-2 и выполненный в виде отдельного конструктива для двигателей типа ДБ). Ротор двигателей БК-2 и ДБ отделён от статора металлической гильзой, что обеспечивает герметичное разделение внутренней полости двигателей с вращаю-

щимся ротором от статора и окружающей среды, даёт возможность простыми средствами встроить электродвигатель в изделие потребителя, например, в насос гидросистемы, не заботясь об установке на вал двигателя каких-либо уплотнителей.

Разработанные бесконтактные двигатели характеризуются следующими данными: напряжение питания 23 – 34 В, мощность на валу 1,6 – 90 Вт, частота вращения 600 – 15 000 об/мин, диаметр корпуса 30 – 80 мм, масса 0,2 – 3,0 кг.

НПП ВНИИЭМ ведёт постоянную работу по совершенствованию разработанных изделий, дальнейшему повышению показателей их надёжности и долговечности, созданию новых изделий, в наибольшей степени отвечающих требованиям потребителя.

В 2000 г. в НПП ВНИИЭМ был разработан гибридный шаговый двигатель.

Выпускаемые в настоящее время двигатели типа ДШГ-1,8 нашли широкое применение в электромеханических приводах солнечных батарей всех КА нового поколения: «Монитор», «KazSat», «Экспресс МД», «Электро-Л», «Спектр-Р», «Метеор-М», а также приводах остронаправленных антенн КА «Электро-Л» и «Спектр», приводах раскрытия для КА «Метеор-М».

Гибридный шаговый двигатель ДШГ-1,8 обеспечивает момент 500 г·см на частотах до 500 Гц и сочетает в себе достоинства реактивного шагового двигателя (малая величина шага – 1,8°) и шагового двигателя с постоянными магнитами (наличие фиксирующего момента при снятии напряжения питания не менее 50 г·см).

Первые электромеханические системы ориентации на КА «Метеор» и «Ресурс» были построены с исполнительными органами на базе использования асинхронных двигателей с электронными преобразователями. В дальнейшем на базе БДПТ был создан двигатель-маховик (ДМ) с блоком управления БУДМ с максимальным управляющим моментом 0,21 Н·м и кинетическим моментом не менее 19,6 Н·м·с (табл. 2). Наиболее тяжёлые элементы – постоянные магниты ротора расположены на периферии обода маховика. Сам двигатель-маховик расположен в тонкостенном герметичном кожухе со специальным перепускным магнитным клапаном для сохранения внутреннего избыточного давления в пределах 20 – 70 мм рт. ст. Этим создаются комфортные условия для надёжной работы подшипников в течение длительного срока службы двигателя-маховика, размещаемого вне гермоконтейнера КА, и одновременно минимизируются вентиляционные потери при вращении ротора.

В дальнейшем была разработана серия двигателей-маховиков с диапазоном изменения кинетического момента от ± 1 до $\pm 29,4$ Н·м·с.

Таблица 2

Основные технические характеристики ДМ

Наименование привода	Мощность, Вт	Мощность в установленном режиме, Вт	Управляющий момент не более, Н·м	Диапазон изменения кинетического момента, Н·м·с	Диапазон изменения частоты вращения, об/мин	Масса, кг	
						ДМ	БУДМ
ДМ	70	6	0,25	±19,6	±1100	10,8	2,7
ДМ-1	100	7	0,35	±29,4	±1200	14,0	3,5
ДМ1-20	15	3	0,02	±1	±6000	1,2	
ДМ5-50	31	4	0,05	±5	±2500	3,8	
ДМ10-25	31	5	0,025	±10	±2500	4	
ДМ20-250/Т	70	6	0,25	±20	±1400	11,5	

Во ВНИИЭМ с момента его создания работали и многие работают в настоящее время известные специалисты в области электрических микромашин, внёсшие решающий вклад в выполнение упомянутых работ – Н.Я. Альпер, С.А. Стома, И.А. Веворко, И.И. Горжевский, В.М. Захарян, Г.А. Стамбулян, Е.М. Михайлов, А.В. Болдышев, В.М. Кузьмин, А.И. Мельников, Ю.А. Покатилов, Е.П. Рудобаба, В.Я. Авербух, Э.М. Хроменко и др.

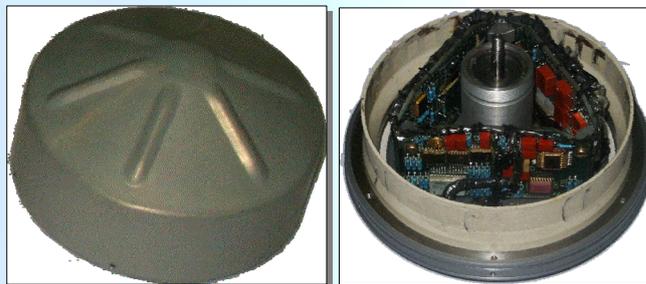
Для системы стабилизации телевизионных спутников Земли «Молния» был разработан гиросиловой стабилизатор (ГСС) с использованием асинхронного двигателя с дуговым статором.

В НПП ВНИИЭМ был разработан первый в мировой практике электромеханический комплекс для активной трёхосной ориентации орбитальных станций типа «Салют» на базе шарового двигателя-маховика с электромагнитным подвесом ротора и кольцевого двигателя-маховика с фрикционным электроприводом. Первый обеспечивал непрерывную высокоточную стабилизацию станции относительно заданных программой ориентиров, а второй – быструю переориентацию станции вокруг продольной оси. Система с шаровым маховиком принципиально точнее, чем система с тремя маховиками, поскольку в случае шара отсутствуют гироскопические связи, которые понижают точность стабилизации. Ротор-маховик, выполненный в виде полого шара, удерживается без механических опор внутри корпуса трёхосного электродвигателя в подвешенном состоянии с помощью шести электромагнитов и приводится во вращение шестью дуговыми статорами, расположенными попарно на корпусе в трёх взаимно-перпендикулярных плоскостях. Измерение частоты и определение направления вращения производится тремя тахогенераторами, статорные дуги которых расположены на корпусе. Ротор маховика выполнен в виде кольца, опирающегося на две приводные и одну тахометрическую станции. Приводная станция состоит из электродвигателя с приводным роликом и прижимного ролика.

Кольцевой маховик хорошо вписался в контур станции, не сокращая свободного объёма жилого отсека.

Уникальное оборудование ВНИИЭМ успешно отработало при эксплуатации станции «Алмаз» и получило высокую оценку заказчиков.

Успех серии уникальных астрофизических исследований на космической орбитальной станции «Мир» был обеспечен благодаря высокой точности ориентации, которая составляла не менее 1 угл. мин. На станции «Мир» в качестве силовых органов системы ориентации и стабилизации были использованы двухступенные силовые стабилизаторы – гиродины с магнитным подвесом ротора.



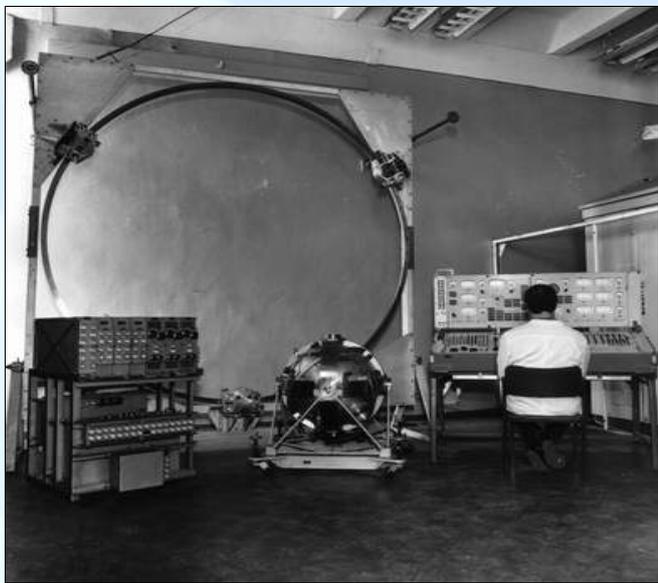
Двигатель-маховик моноблочной конструкции для МКА



Гиросиловой стабилизатор ГСС КА «Молния»: а – общий вид; б – вид со снятым кожухом; максимальный кинетический момент – 100 Н·м·с; максимальный управляющий момент – 0,4 Н·м; частота вращения – 200 об/мин; потребляемая мощность – 15 Вт; масса – 85 кг



Шаровой двигатель-маховик на магнитном подвесе: максимальный кинетический момент – 250 Н·м·с; управляющий момент – 3 Н·м; диаметр ротора – 0,64 м; частота вращения – 800 об/мин; масса с аппаратурой управления – 230 кг



Кольцевой двигатель-маховик: максимальный кинетический момент – 1000 Н·м·с; максимальный управляющий момент – 200 Н·м; максимальная частота вращения ротора – 80 об/мин; максимальная мощность – 2000 Вт; масса маховика – 70 кг; масса конструкции, включая маховик – 140 кг; масса преобразователя для электродвигателя – 32 кг; средний диаметр – 2,7 м

Оптимальный комплект из шести гироскопов обеспечивал наилучшую управляемость орбитальной станции и возможность сохранения работоспособности при отказе одного и даже двух гироскопов.

Гироскоп функционально объединил три самостоятельных следящих системы: электропривод роторов, электропривод гироскопа и электромагнитный подвес ротора.

Главную роль в выполнении этих работ играли Н.Я. Альпер, А.И. Мельников, В.П. Верещагин, Д.М. Вейнберг, Н.Н. Данилов-Нитусов, О.М. Мирошник, Л.М. Дубинский, В.Н. Карцев, Е.А. Кроль, Н.Н. Плещунов, М.Н. Фиалков, Г.Л. Людин, В.Н. Васильев, В.А. Беляк, А.З. Емельянов, А.П. Сарычев, С.П. Квасников, Х.И. Аляутдинов, В.П. Курилович, В.П. Фока, А.Д. Подоппелов, А.К. Сионкин, В.С. Новиков и др. Руководили выполнением этой работы Н.Н. Шереметьевский, А.М. Платонов и С.А. Стома.

С начала 1960-х гг. НИИ ВНИИЭМ ведёт разработки оптико-электронных приборов системы ориентации, одной из которых является построитель местной вертикали (ПМВ). ПМВ предназначен для ориентации двух осей КА (крена и тангажа) относительно местной вертикали.

Прибор 7201 предназначен для использования в системах ориентации больших КА, находящихся на среднеэллиптических орбитах. Прибор размещён в герметичном корпусе. Выходная информация выдается в аналоговом виде.

Прибор 8201-В предназначен для использования в системах ориентации малых КА и охватывает область среднеэллиптических орбит в диапазоне высот от 300 до 1200 км. За счёт изменения углов установки неподвижных зеркал может быть обеспечена работа прибора в других диапазонах высот вплоть до геостационара. Прибор размещён в негерметичном корпусе. Выходная информация выдается в цифровом виде.

Наибольший вклад в эти разработки внесли С.И. Скутельский, О.М. Мирошник, Е.Н. Михайлов, Ю.М. Гандлевский, В.Н. Тюпикин, К.М. Панченко, Т.И. Киселева, М.Д. Дегтярёв, Е.А. Никифорова и др.

НИИ ВНИИЭМ разрабатывает приводные системы для многих сканирующих приборов, применяемых как на КА собственных разработок, так и на КА разработок других предприятий. Первые электроприводы развёртывающих устройств были выполнены на базе гистерезисных электродвигателей. Для многоспектральных сканирующих устройств на базе бесконтактных электродвигателей постоянного тока были разработаны развёртывающие приводы ПМСУ-С и ПМСУ-И с высокой стабильностью мгновенной скорости вращения.



Двухступенной гиросиловой стабилизатор – гиросин: максимальный кинетический момент – 1000 Н·м·с; максимальный управляющий момент – 200 Н·м; угол прецессии – не ограничен; максимальный момент нагрузки привода прецессии – 200 Н·м; диаметр ротора – 0,4 м; частота вращения ротора – 10000 об/мин; удельная грузоподъёмность магнитных подшипников – 300 Н/кг; масса ротора – 40 кг; масса комплекта с электронной аппаратурой – 165 кг



Инфракрасный построитель местной вертикали для малых КА: рабочий диапазон высоты полёта – (450 – 1300) км; линейный диапазон выходных характеристик – не менее $\pm 3^\circ$; суммарная погрешность не более 2,5 угл. мин; масса – 15 кг; энергопотребление – 20 Вт

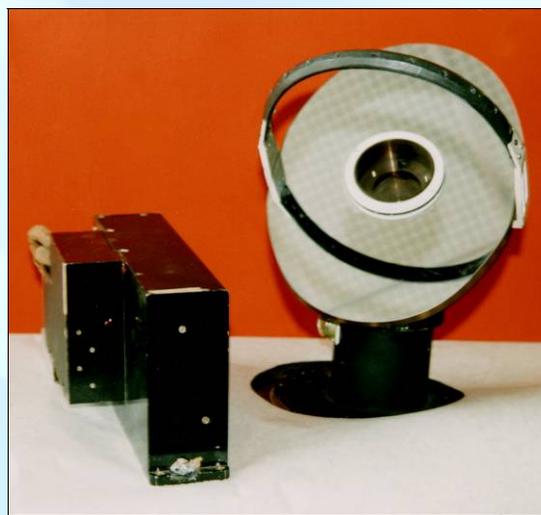


Построитель местной вертикали 8201-B: рабочий диапазон высоты полёта – 300 – 1200 км; линейный диапазон выходных характеристик не менее $\pm 3^\circ$; суммарная погрешность не более 2,5 угл. мин; масса – 2,5 кг; энергопотребление – 5 Вт

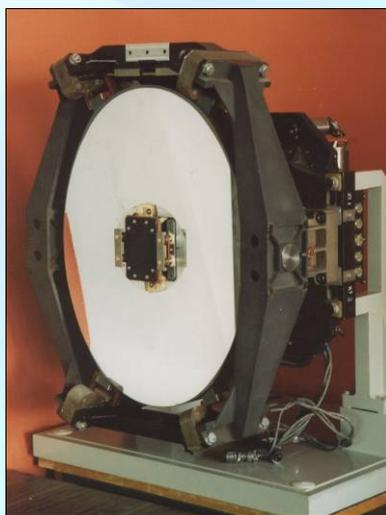
Таблица 3

Основные технические характеристики приводов БСКР-01 и БСКР-02

Параметр	БСКР-01	БСКР-02
Угол поворота сканирующего зеркала вокруг оси развёртки, град		
– строчной	9	9
– кадровой	0,03	12
Частота сканирования по оси строчного движения, Гц	12,8	2
Максимальная угловая скорость, град/с	2,5	0,4
Погрешность слежения за программой не более, угл. с	2	1,5
Погрешность позиционирования не более, угл. с	0,5	0,5
Масса зеркала, кг	7	5
Количество программ движения	2	3
Потребляемая мощность, Вт	200	150



ПМСУ



Прецизионное сканирующее устройство БСКР КА «Электро»





Электромеханический блок привода



Оптико-микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ОК



Вращающееся контактное устройство (ВКУ): момент инерции нагрузки привода – $2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; частота вращения привода – 24 об/мин ; точность поддержания частоты вращения – $\pm 0,04\%$; количество токосъёмных цепей ВКУ – 9 ; ресурс – $70 \cdot 10^6$ оборотов



Турбогенераторный блок бортовой системы электропитания ракеты Н1

Технические характеристики агрегатов турбогенераторных АТГ-211

Рабочее тело	
– наземные условия эксплуатации воздух или азот, давление температура	230 – 60 ата $\pm 50^\circ\text{C}$
– полётные условия гелий, давление температура	230 – 21,5 ата от -150 до $+60^\circ\text{C}$ 15 000 об/мин
Номинальная частота вращения турбины	
Номенклатура выдаваемых напряжений	
– переменное трёхфазное, частота 1000 Гц	$60 \pm 2,5 \text{ В}$ $40 \pm 1,5 \text{ В}$ $29,5 \pm 0,5 \text{ В}$
– постоянное	
Точность поддержания частоты	
– в установившемся режиме работы	$\pm 0,6\%$
– в переходных режимах работы	$\pm 2\%$
Отдаваемая мощность	
– генераторов переменного тока	$15 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ (допустимая перегрузка $25 \text{ кВ}\cdot\text{А}$)
– генератора постоянного тока	3 кВт (допустимая перегрузка 5 кВт)

Наиболее выдающейся разработкой в этой области был двухкоординатный прецизионный привод сканирующего зеркала типа БСКР КА «Электро» с цифровым программным управлением и лазерным интерферометром в цепи обратной связи (табл. 3).

Приборы обеспечивают независимый поворот зеркала относительно двух взаимно перпендикулярных осей, предельно малое время ударного реверса при практическом отсутствии погрешности параметров его движения по окончании реверса и минимальное возмущающее воздействие со стороны работающего привода на приборную платформу КА.

Для спутникового микроволнового сканера «Дельта 2», разработанного ОКБ МЭИ и установленного на станции «Мир» и КА «Океан», был разработан привод с моментным двигателем постоянного тока. Заданная частота вращения – 24 об/мин поддерживалась с точностью $\pm 0,1\%$.

В состав коллектива разработчиков, руководимого И.А. Вевурко, входили В.Е. Ремизов, С.В. Медушев, В.В. Шичков, А.В. Болдышев, А.П. Мельников, В.К. Тихомиров, В.С. Мельников и др.

Центром космических наблюдений разработан СВЧ-радиометр типа МТВЗА, для которого НПП ВНИИЭМ разработал привод на базе моментного двигателя, обеспечивающий высокую стабильность частоты вращения параболического рефлектора антенны, с моментом инерции $2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ и массой 60 кг .

Для обеспечения изложенных выше требований было создано токосъёмное устройство (ВКУ), обеспечивающее сохранность характеристик при выполнении 70 млн. оборотов за заданный ресурс работы.

Разработчиками этих устройств являются В.Я. Авербух, Е.М. Гнутов, В.В. Федоров, Э.М. Хроменко, В.М. Ярцев, А.Б. Новиков, Г.Н. Турунов, Н.А. Папгина, С.В. Медушев, Е.М. Михайлов, Б.К. Нарвоцкий, Н.А. Быкова и др.

Первая в мировой практике система электропитания переменного тока с турбогенераторными источниками электроэнергии была создана для ракеты Н1 в период $1964 - 1972 \text{ гг.}$

В состав АТГ входили: турбогенераторный блок АТГ-211, блок компаундирующих трансформаторов, блок регуляторов напряжения, блок регуляторов частоты, блок защиты неисправного канала, блок фильтров. Турбина была разработана заводом «Сатурн».

В обеспечении специальным запасом рабочего тела – гелия – не было необходимости. Баллоны с гелием были предназначены для наддува баков горючего после снижения давления. Часть его в качестве рабочего тела поступала в турбину. С выхода турбины он поступал в систему наддува баков горючего. В ракете устанавливалось 2 АТГ – один на блоке «А» для питания нагрузок блока «А», а другой – на блоке «В» для питания нагрузок блоков «Б» и «В» после отделения блока «А».

Генераторная часть агрегата состояла из двух бесконтактных синхронных генераторов, расположенных на одном валу. В качестве генератора переменного тока был выбран торцевой синхронный генератор, а в качестве генератора постоянного тока – генератор с внешнезамкнутым потоком.

Электрическая схема генератора постоянного тока состояла из пяти пар трёхфазных звёзд, напряжение которых выпрямлялось трёхфазными мостовыми выпрямителями, а пульсации выпрямленного напряжения уменьшались мощным блоком фильтров.

Руководили этими работами Н.Н. Шереметьевский и А.М. Платонов. В коллектив исполнителей входили Е.А. Меерович, Л.М. Паластин, К.К. Попов, С.П. Дмитриев, В.Я. Авербух, Г.В. Борисов, Б.Я. Жезмер, Э.Л. Позняк, А.И. Чашник, Э.А. Лещинский, Н.М. Грузов, Е.М. Гнутов, В.М. Ярцев,

С.К. Эйтминович, В.П. Пятков, Г.Н. Турунов, Э.М. Хроменко, А.А. Дионисьева, Т.И. Удалова, Ф.М. Сальковский, И.Я. Каплунов, В.В. Мальцев, И.А. Кроль, Н.А. Гивартовская и др.

Разработанный турбогенераторный источник электропитания ракеты Н1 был положен в основу разработки источника питания блока Ц системы «Энергия» – «Буран», а ведущие специалисты ВНИИЭМ Н.Н. Шереметьевский, С.А. Стома, Е.А. Меерович, В.Я. Авербух осуществляли научное руководство этой разработкой.

На всех КА разработки НПП ВНИИЭМ, НПО им. С.А. Лавочкина и на КА разработки РКК «Энергия», ГКНПЦ им. М.В. Хруничева и ОАО «ВПК «НПО машиностроения», не имеющих постоянную солнечную ориентацию, установлены системы ориентации солнечных батарей (СОСБ), разработанные в НПП ВНИИЭМ.

Впервые такая СОСБ была разработана во ВНИИЭМ и установлена на КА «Космос-44», который был запущен на орбиту в 1964 г. Практически одновременно с КА «Космос-44» был запущен ИСЗ «Нимбус-1» (США), сконструированный фирмой «General Electric», на котором также были использованы ориентируемые СБ.

Для КА, предназначенных для мониторинга земной поверхности, разрабатывались СОСБ, в том числе и с непосредственным динамическим уравновешиванием.

Автономные СОСБ состоят из одного или нескольких электромеханических блоков привода СБ, блока управления и блока датчиков Солнца.



Электромеханический блок привода солнечных батарей орбитальных станций «Салют» и «Мир»



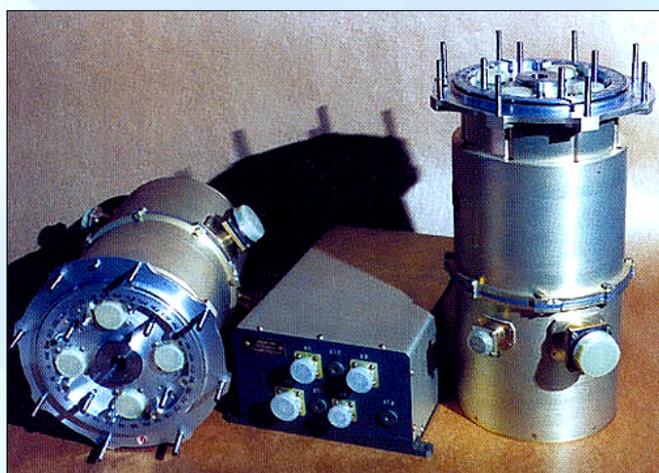
Станция «Мир»



В.Я. Авербух А.И. Мельников И.А. Вевюрко



С.А. Стома В.П. Верещагин О.М. Мирошник



СОСБ КА «Монитор-Э» и «KazSat-1»

С учётом достигнутого уровня надёжности бортового комплекса управления многие заказчики СОСБ посчитали возможным отказаться от автономного принципа управления СОСБ в пользу программного управления, при котором положение панелей СОСБ изменяется в соответствии с командами БКУ на основе информации, имеющейся в его распоряжении. С использованием гибридного шагового двигателя разработан целый ряд СОСБ для малых КА.

Перечисленные разработки выполнены под руководством Н.Н. Шереметьевского, А.М. Платонова, С.А. Стомы, А.П. Сарычева. Техническое руководство разработками осуществлялось Н.Я. Альпером, В.Я. Авербухом, С.В. Медушевым. В коллектив исполнителей входили Д.М. Вейнберг, М.Н. Фиалков, Г.Л. Людин, В.М. Лурье, С.И. Скутельский, Ю.М. Гандлевский, О.М. Мирошник, В.П. Курилович, Э.Г. Бланк, В.М. Сибирцев, А.Д. Беленький, С.Н. Лерман, Э.А. Лещинский, А.Н. Шечков, К.К. Попов, В.М. Ярцев, А.Б. Новиков, Г.Н. Турунов, С.И. Хроменко, А.И. Чашник, Н.М. Грузов, М.Ю. Щетинин, А.Н. Аронзон, С.И. Клименко, Э.М. Хроменко, Г.И. Левитес, Н.А. Быкова, Б.К. Навроцкий, Е.М. Михайлов, И.А. Кроль, Е.Н. Михайлов, В.В. Федоров, Э.Л. Позняк, В.Я. Геча, Е.А. Каннуникова, Ф.М. Сальковский, Г.П. Сафонов и др.

В статье перечислены только основные разработки НПП ВНИИЭМ для нужд космической техники и ракетостроения. Фактический перечень работ гораздо шире. Проводятся разработки целого ряда приводов антенно-фидерных устройств, систем раскрытия и защитных экранов систем терморегулирования, приводов калибровки и фокусировки бортовых телевизионных комплексов и многого другого.

Поступила в редакцию 30.06.2011

Владимир Яковлевич Авербух, канд. техн. наук, главный специалист,
т. 366-32-44, e-mail: vniiem@orc.ru.