

КОНСТРУКТИВНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ НА ПРИНЦИПАХ АГРЕГАТИРОВАНИЯ И МОДУЛЬНОСТИ

А. Н. Шашкин, В. Н. Савин, Е. В. Чигарова

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Проектирование РЭС основывается на общих принципах обеспечения минимальных затрат и сроков на разработку новых видов РЭС, повышения их надежности за счет применения устройств, проверенных в эксплуатации, сокращения стоимости изготовления благодаря применению прогрессивных технологических процессов при производстве. Одним из элементов реализации этих принципов является использование стандартизации и унификации¹. Унификация несущих конструкций приборов позволяет собрать общую конструкцию любой сложности и функциональной направленности, используя при этом модульный принцип конструирования [1].

Однако при конструировании бортовых РЭС в основном используется метод моноконструкций, реализуемый в виде моноблока на основе оригинальной несущей конструкции, при минимальном значении унифицированных составных частей.

Цель данной работы – объединить возможности методов конструирования с использованием унифицированных несущих конструкций, в части уменьшения номенклатуры оригинальных деталей, уменьшения затрат, повышения надежности, и метода моноконструкций, в части стойкости к воздействию механических факторов бортовых РЭС.

В работе приводится анализ существующих моноконструкций, опыта разработки конструкций бортовых РЭС предприятиями ракетно-космической отрасли, рассмотрены вопросы отработки, приведены результаты комбинирования методов конструирования на примере конкретного прибора.

При разработке РЭС используются три основных пути реализации конструкции на основе модульного принципа проектирования [2]:

- с применением функциональных модулей² малой сложности в виде небольшой печатной платы с установленными на ней разъемами и радиоэлементами;
- в компоновке образцов аппаратуры из крупных функционально законченных модулей (в виде блоков питания, памяти и др.);

– с применением модульного принципа на всех уровнях конструктивной иерархии, когда модули аппаратуры более высоких уровней составляются из модулей более низких уровней.

В целом все направления модульного проектирования основываются на общетехническом принципе агрегатирования, который можно сформулировать следующим образом:

- каждое законченное техническое устройство с самостоятельной функцией представляет собой агрегат, состоящий из нескольких независимых устройств – модулей;
- расчленение на модули производится таким образом, чтобы каждый из них выполнял определенную функцию и при этом имел конструктивно-технологическую и функциональную законченность;
- виды сопряжений модулей должны обеспечивать их сборку в агрегат с заданными технико-эксплуатационными характеристиками;
- функциональное разнообразие агрегатов достигается различным сочетанием модулей, а также возможностью наращивания структуры агрегатов в процессе их эксплуатации.

При проектировании приборов бортовых РЭС отработана схема конструкции в виде моноблока. Общий вид типовой конструкции приборов представлен на рис. 1.

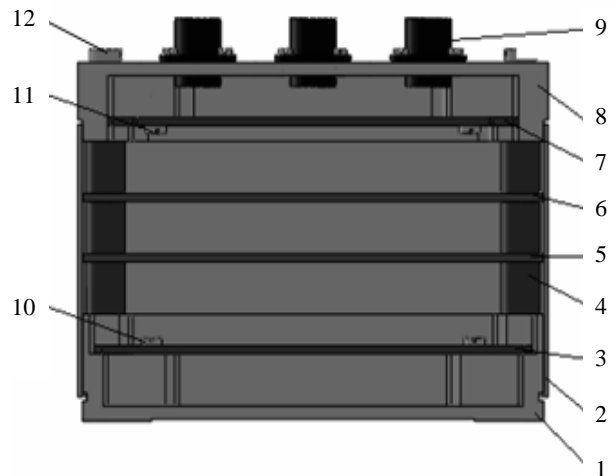


Рис. 1. Общий вид типовой конструкции бортовых приборов: 1 – нижняя панель; 2 – кожух; 3, 5–7 – платы; 4 – втулка; 8 – верхняя панель; 9 – соединитель; 10, 11 – винт малого диаметра; 12 – общий винт

¹ Унификация – это установление разновидностей объектов одинакового функционального назначения для решения конкретной проблемы.

² Модуль – составная часть аппаратуры, выполняющая в конструкции подчиненные функции, имеющая законченное функциональное и конструктивное оформление и снабженная элементами коммутации и механического соединения с подобными модулями в изделии.

Несущими элементами конструкции являются панели 1, 8, выполненные из алюминиевого сплава Д16. Между панелями расположены в виде этажерки двухсторонние печатные платы 3, 5–7, на которых смонтированы функционально законченные устройства приборов (количество плат, размеры и форма панелей меняются в зависимости от выполняемых задач, таким образом, меняется и габаритный размер). Межплатный монтаж осуществляется при помощи объемного провода, пайкой за контактные площадки соответствующей платы в соответствии со схемой электрической соединений.

Сборка прибора осуществляется при помощи четырех винтов 12 через соосные отверстия, расположенные в углах, которые крепят между собой панели 1, 8, платы 3, 5–7. Для обеспечения необходимых зазоров между платами установлены втулки 4. Жесткость конструкции придает кожух 2. Конструкция может быть без кожуха 2. В этом случае панели 1, 8 являются несущими элементами конструкции и придают ей жесткость.

Проведен анализ типовой конструкции приборов бортовых РЭС в виде моноблока. Следует отметить основные выводы:

- моноблочную конструкцию сложно модернизировать;

- моноблочную конструкцию отличает «кость» конструктивной структуры, т. е. отсутствует возможность наращивания функциональных возможностей за счет изменения количества применяемых устройств;

- сложность поиска отказавших элементов;

- применение большого количества оригинальных деталей увеличивает стоимость и сроки разработки бортовых РЭС;

- при отработке каждого нового прибора бортовых РЭС проводится полный цикл автономных испытаний, что приводит также к дополнительным денежным затратам и увеличению сроков разработки.

Использование моноблочных конструкций оправдано только малыми объемами изделий.

В качестве альтернативных конструкций рассмотрены бортовые приборы отечественных предприятий – ФГУП «ОКБ МЭИ» и НПО «Рубикон-Инновация».

Из анализа рассмотренных приборов определены основные требования к модульной конструкции бортовых приборов:

- приборы должны иметь в своем составе унифицированные модули;

- сопряжение между модулями осуществлять без использования объемного монтажного провода

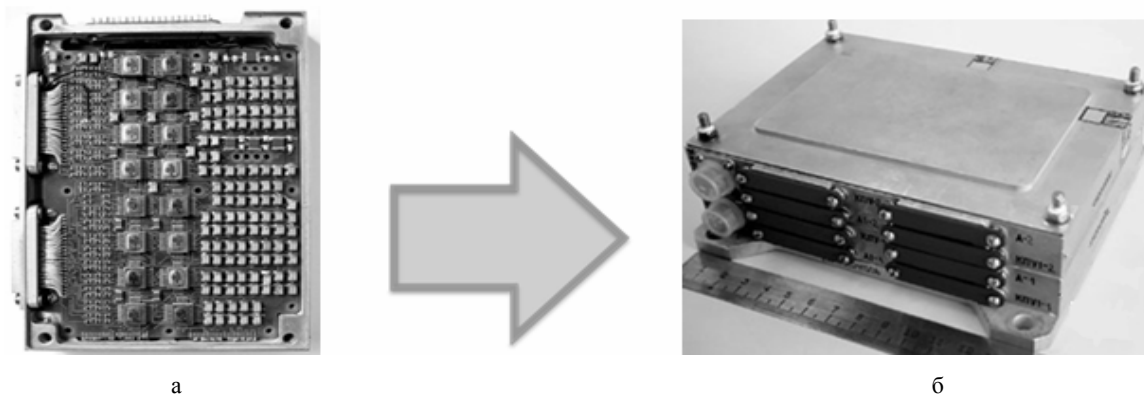


Рис. 2. Общий вид конструкции унифицированного прибора системы «Орбита-ТРТК»: а – унифицированный модуль; б – общий вид унифицированного прибора

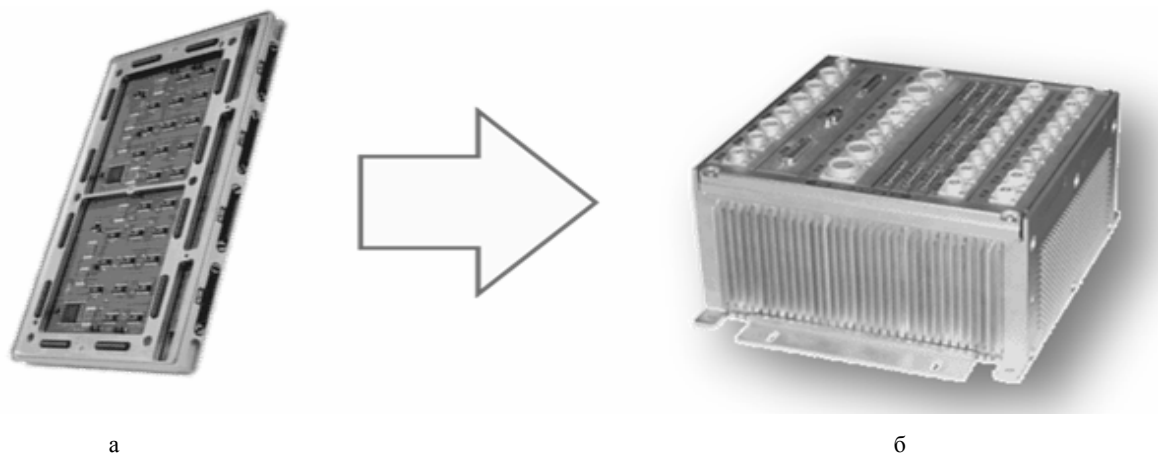


Рис. 3. Общий вид конструкции унифицированного прибора НПО «Рубикон-Инновация»: а – унифицированный модуль; б – общий вид унифицированного прибора

для удобства настройки, проверки и замены модулей на другие;

– крепление основания и модулей приборов к изделию должно быть жестким и удовлетворять всем предъявляемым требованиям.

На основе сформулированных положений разработан макет. Макет разрабатывался на основе прототипа, выполненного в виде моноблока. Общий вид приборов представлен на рис. 4.

Габариты макета в плане соответствуют габаритным размерам прототипа, размер по высоте больше на 7,5 мм. Это вызвано использованием в конструкции макета унифицированных модулей. Значение высоты модуля является постоянной величиной. Подробно конструкция макета представлена на рис. 5.

Функциональное разбиение схемы электрической принципиальной на унифицированные модули в макете соответствует разбиению по платам.

В качестве основного элемента конструкции используется унифицированный модуль, который имеет в своем составе втулки 1 (см. рис. 5,а), стандартный электрический соединитель (розетку) 2, планки 3, винты 4, несущий корпус модуля 5, стандартный электрический соединитель (вилку) 6, печатную плату с радиоэлементами 7. Печатная плата 7 крепится к основанию корпуса модуля 5 посредством втулок 1

(втулки – полые), элементы модуля – электрические соединители вилка 6 и розетка 2 установлены на противоположных сторонах печатной платы, причем в разных направлениях: вилка вниз – розетка вверх и наоборот (это сделано для увеличения количества унифицированных модулей в макете). Электрические соединители 2, 6 крепятся к корпусу модуля при помощи планки 3 и винтов 4 (см. рис. 5,а).

Для прочности соединения унифицированных модулей электрическими соединителями в макете применяются винты 8, которые стягивают конструкцию макета (верхнюю панель 9 и основание 10) в единое целое (см. рис. 5,в).

Унифицированные модули соединяются при помощи стандартных электрических соединителей вилки 6 и розетки 2 (см рис. 5,б).

Для подтверждения требований по стойкости к воздействию механических факторов макета была создана его трехмерная модель и проведен расчет с целью определения динамических характеристик. При расчете использовалась программы компьютерного моделирования: VibroDefence v.4 и Shock Cover, совместная разработка РФЯЦ-ВНИИЭФ и Владимирского государственного университета.

Для оценки полученных результатов при вибрационных воздействиях был проведен расчет с использованием полной системы уравнений Рэлея – Ритца.

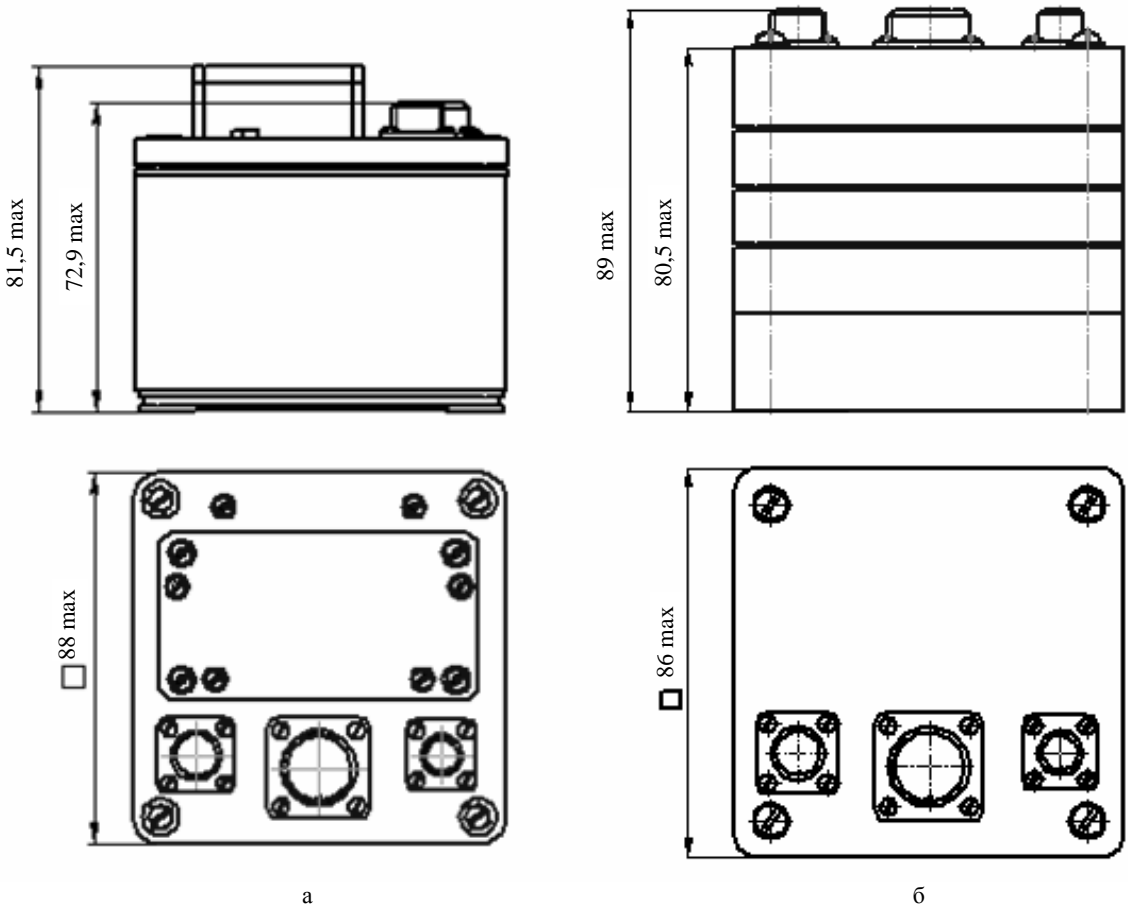
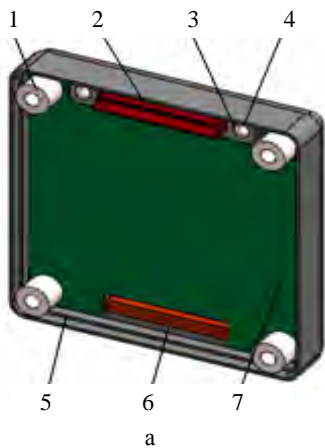
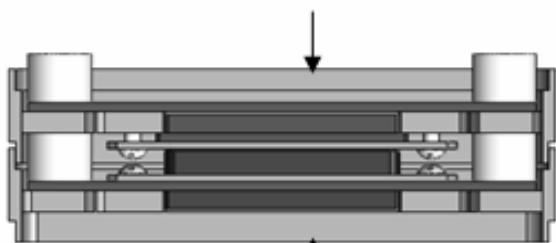


Рис. 4. Общий вид приборов: а – прототип; б – макет



Модуль № 1

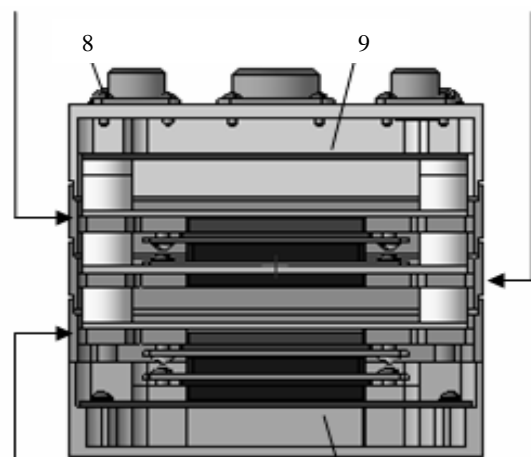


Модуль № 2

б

Модуль № 1

Модуль № 2



в

Рис. 5. Конструкция макета: а – конструкция унифицированного модуля: 1 – втулка, 2 – электрический соединитель СНП339 (розетка), 3 – планка, 4 – винт, 5 – корпус, 6 – электрический соединитель СНП339 (вилка), 7 – печатная плата; б – соединение унифицированных модулей между собой непосредственно электрическими соединителями СНП339; в – макет с унифицированными модулями: 8 – винт, 9 – верхняя панель с коммутационной платой (запоминающее устройство), 10 – основание с печатной платой (блок питания)

Типы анализов, выполненных в ходе расчета:

- гармонический анализ: приложение нагрузки в 1 г, изменяющейся по синусоидальному закону во времени в заданном диапазоне частот (от 10 до 2000 Гц) при воздействии в осевом направлении;
- временной анализ: приложение ударного воздействия в виде полусинусоиды с амплитудой ускорения 1470 м/с^2 (150 г) длительностью 2 мс при воздействии в осевом направлении.

По результатам расчетов:

- определены АЧХ типовой печатной платы (ПП) из состава макета. Увеличение жесткости конструкции ПП (введение дополнительной опоры – 5 точки крепления, увеличение толщины ПП с 1,5 до 2 мм) повысило значение СЧК с 402 до 1115,2 Гц;

– определены коэффициенты динамичности ПП. Применение заливочного материала и увеличение жесткости конструкции ПП снизило значение Кд с 24 до 2,6 ед.;

– сделано заключение о прочности макета к вибрационным перегрузкам. Максимально допустимые значения нагрузок на ЭРИ, применяемые в макете, составляют 40 г. С учетом полученных перегрузок в 2,6 ед., при нагрузке в 15 г (в соответствии с требованиями на прибор), приходящие нагрузки на ЭРИ макета при воздействии синусоидальной вибрации составят 39 г, что меньше допустимого значения по ТУ. На основании этого сделано заключение о том, что конструкция макета выдержит прикладываемые к ней вибрационные нагрузки;

– полученное пиковое ударное ускорение для нижней ПП (платы питания) составляет 178,4 г (см. рис. 6), а для верхней ПП – 182,5 г (см. рис. 7), что не превышает предельно допустимого значения ускорения 1500 г согласно ТУ на ЭРИ. Таким образом, конструкция макета обладает достаточным запасом прочности, и дополнительных мер по защите макета от механического удара одиночного действия принимать не требуется.

В соответствии с этим сделан вывод – конструкция макета по механическим характеристикам соответствует заданным и имеет характеристики, сравнимые с прототипом.

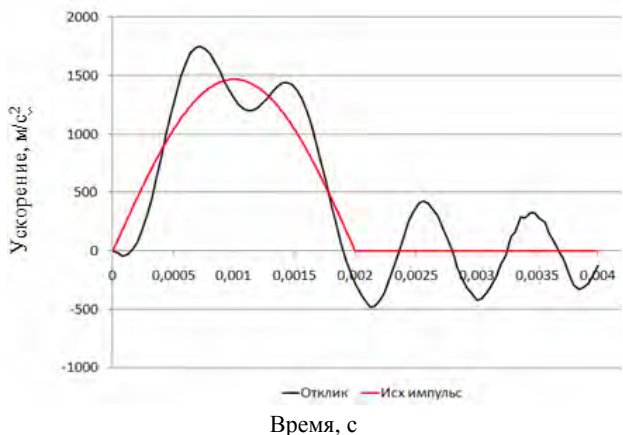


Рис. 6. График зависимости ускорения от времени нижней ПП

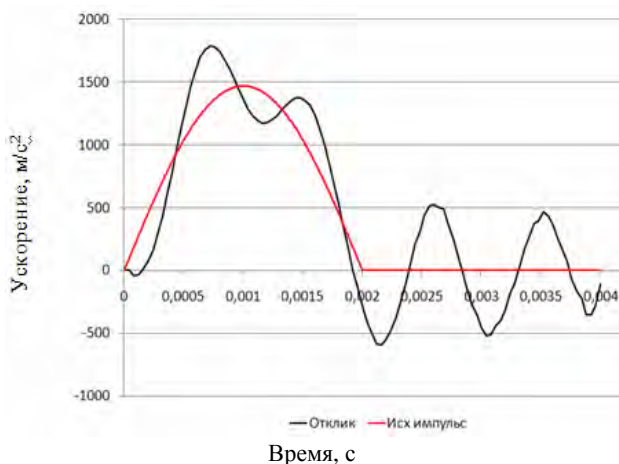


Рис. 7. График зависимости ускорения от времени верхней ПП

Сравнительные характеристики прототипа и макета представлены в таблице.

Сравнительные характеристики прототипа и макета

	Масса, кг	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Установочные размеры	Тип межплатного соединения
Прототип	0,78±0,02	88	88	81,5	Без изменений	Объёмный провод
Макет	0,69±0,02	86	86	89		Контактные соединители

Таким образом, использование при конструировании приборов бортовых РЭС принципов агрегатирования и модульности позволяет:

а) разработать единый комплект КД базовой комплектации бортовых приборов. Приборы являются в данном случае составной частью конструктивной системы. Несущим основанием прибора (определяющим его габариты и массовые характеристики) является унифицированный блок питания, на котором размещаются унифицированные функциональные модули в виде конструктивно законченных ячеек. Состав базовой комплектации может быть изменен простым добавлением в существующие приборы недостающих функциональных ячеек;

б) один раз провести технологическую подготовку производства приборов базовой комплектации и разработать единый комплект технологической документации (ТД). Дальнейшие изменения и модернизация базовой комплектации приборов с технологической точки зрения сводятся к разработке технологических процессов изготовления новых печатных плат, входящих в функциональные ячейки. Сам технологический процесс сборки прибора значительно упрощается – каждый функциональный модуль, в т. ч. и блок питания, изготавливаются и

настраиваются отдельно, а на последней операции происходит механическое соединение составных частей прибора и его общая настройка. Причем, поиск причин отказов при сборке агрегатированного прибора значительно облегчается, так как можно протестировать и, при необходимости, отремонтировать или заменить каждый модуль отдельно;

в) один раз провести полный цикл автономных испытаний приборов базовой комплектации в соответствии с отраслевой НТД. Так как конструкции блока питания и функциональных ячеек являются унифицированными, а прибор из них собирается простым механическим соединением, то полностью испытания конструкции приборов бортовых РЭС проводятся единожды (с учетом разных вариантов компоновки приборов по высоте). Работоспособность конструкции приборов можно подтверждать автономными испытаниями функциональных ячеек (так как, по сути, в приборе только это и является новым компонентом);

г) значительно сократить время поиска и устранения отказов приборов при эксплуатации. В настоящее время при отказе прибора достаточно трудно найти и устранить причину отказа, а в случае, если прибор залит каким-либо компаундом, это практически невозможно. В этом случае замене подлежит весь прибор. При использовании агрегатированной конструкции можно достаточно быстро найти отказавший модуль и отремонтировать его или заменить, что намного дешевле. Следует отметить, что использование унифицированных конструкций позволяет значительно сократить время разработки и изготовления новых приборов что, по сути, является модернизацией существующей конструкции, тогда как в настоящее время любое изменение комплектации приборов бортовой РЭА приводит к необходимости полной разработки и отработки нового прибора.

Заключение

В ходе проделанной работы:

- проанализированы существующие типовые конструкции бортовых приборов РЭА;
- учтен опыт разработки конструкций бортовой РЭА предприятий ракетно-космической отрасли отечественных производителей;
- определены требования к разработке приборов на основе анализа рассмотренных конструкций бортовой РЭА;
- разработан конструкторский макет прибора, основанный на принципах агрегатирования и модульности (см. рис. 8);
- проведены исследования макета в конечно-элементном пакете моделирования на воздействие различных механических факторов;
- рассмотрены вопросы отработки приборов бортовых РЭА, построенных на принципах агрегатирования и модульности.

Разработанная конструктивная схема в виде макета на принципах агрегатирования и модульности

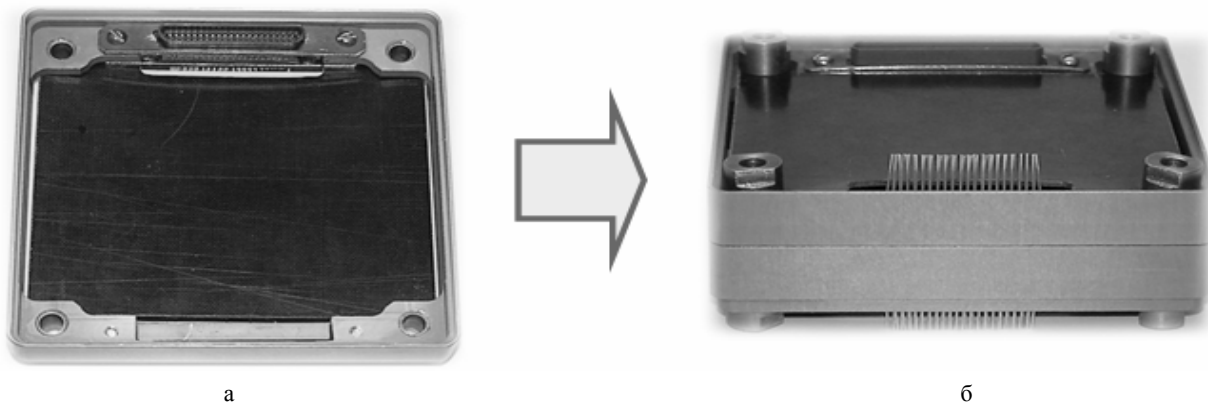


Рис. 8. Конструкция разработанного макета: а – модуль макета; б – сборка модулей

объединила возможности моноблочных конструкций, в части стойкости к воздействию механических факторов, и конструкций на основе унифицированных модулей, в части уменьшения номенклатуры оригинальных деталей и уменьшения затрат.

Для внедрения в практику конструирования приборов бортовых РЭС принципов агрегатирования и модульности требуется разработать базовый комплект КД конструкции прибора с последующим изготовлением действующих приборов и приведением комплекса автономных испытаний.

Литература

1. Победоносцев К. А. Агрегатирование – эффективный путь создания радиотелеметрических систем // Аэрокосмический курьер. 2004. № 4.
2. Фомин А. Ф., Новоселов О. Н., Победоносцев К. А., Чернышов Ю. Н. / Под ред. А. Ф. Фомина, О. Н. Новоселова. Цифровые информационно-измерительные системы: Теория и практика. М.: Энергоатомиздат, 1996.