

УДК 629.7.01

**КЛАССИФИКАЦИИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ  
МОДУЛЕЙ ОРБИТАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ  
ЕДИНСТВА ТИПОРАЗМЕРОВ ИХ КОРПУСОВ  
ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ МИНИМИЗАЦИИ  
МАССЫ КОММУНИКАЦИЙ**

Д.С. Шаринский

Д.С. Шаринский (ПАО «РКК «Энергия» имени С.П. Королёва»)

На основе анализа массовых сводок модулей орбитальных станций, ключевых ограничений, учитываемых при размещении приборов, последовательности разработки изделия, предложен принцип классификации приборов на основе единства типоразмеров их корпусов. В дальнейшем он будет использован при решении задачи минимизации массы коммуникаций, сокращающей время разработки изделия. Представлено обоснование применимости предложенной классификации для проведения компоновочных работ при разработке модулей орбитальных станций.

**Ключевые слова:** компоновка, классификация приборов, типоразмеры, бортовая аппаратура, модули орбитальных станций

**Classifying On-Board Equipment for Orbital Station Modules  
Based on Their Housing Types For Subsequent Use in Solving  
the Problem of Decreasing Mass Communication. D.S. Sharinskiy**

Based on the analysis of mass reports of orbital station modules, key constraints taken into account in instrument placement, the sequence of development of a product is proposed the principle of classification of devices on the basis of unity of type sizes of their housings for subsequent use for minimizing mass of communications, reducing the time of development of the product. Justification for the applicability of the proposed classification to composite work in the development of orbital station modules is presented.

**Keywords:** configuration, instrument classification, types of measurements, on-board equipment, modules of orbital stations

Выбор рациональной компоновки при проектировании орбитальных станций подразумевает оптимизацию взаимного расположения приборов, систем и агрегатов в доступном конструктивном пространстве. С помощью компоновки должны быть достигнуты следующие показатели: приемлемые массо-инерционные и центровочные характеристики (МЦИХ), эффективный теплообмен, электромагнитная совместимость, безопасность, эргономичность, ремонтпригодность, а также рациональная длина кабелей и трубопроводов.

Анализ массовых сводок крупногабаритных модулей орбитальных станций разных поколений показывает, что доля массы электрических связей

относительно стартовой массы изделия варьируется от 5 до 21 % [1, 2]. Абсолютные величины массы кабелей приведены в табл. 1.

Таблица 1

#### Масса кабелей

Наименование модуля	«Салют-1»	«Салют-7»	Базовый блок	СМ «Звезда»	МЛМ «Наука»
Масса кабелей, кг	1000	1800	4500	2900	2171

Значительная доля массы бортовой кабельной сети свидетельствует о необходимости оптимизации связей между компоновками приборами вновь разрабатываемых модулей орбитальных станций. Это позволит не только сократить массу изделия, но и использовать сэкономленную массу для установки функциональных блоков, агрегатов и/или доставляемых грузов.

Процесс оптимизации массы кабелей планируется проводить за счет влияния на их длину путем изменения взаимного расположения коммутируемых приборов.

Рассмотрим ограничения, учитываемые при компоновке изделия. Распределим их по следующим группам:

1. Конструктивные ограничения. Исполнение крепежных элементов, рам должны, кроме задачи однозначной фиксации приборов, отвечать требованиям по технологичности конструкции с учетом норм прочности, обеспечения возможности наращивать и изменять конфигурацию в процессе летной эксплуатации. Для операций по монтажу/демонтажу должно быть задействовано минимальное количество инструментов [3].

2. Эргономические ограничения. Определяются необходимостью доступа к составным элементам изделия как в процессе сборки, так и в процессе модернизации, проведения регламентных работ по обслуживанию в условиях космического пространства. Заменяемое оборудование должно быть легкодоступным, то есть замены должны быть обеспечены с учетом минимальных затрат времени экипажа, являющегося чрезвычайно дорогостоящим ресурсом.

3. Геометрические ограничения. Включают выполнение требований исключения взаимопересечений элементов изделия (силовых элементов конструкции приборов, кабелей, труб и т. д.). Также к этой категории принадлежат требования по контролю положения МЦИХ в заранее заданных рамках диапазона.

4. Обеспечение работоспособности приборов. Сюда относятся следующие требования:

- способ термостатирования (конвективный, излучением, кондуктивный);
- устойчивость к внешним факторам (вакууму, перегрузкам и т. д.);

– допустимая длина межблочных связей.

Для начала процесса минимизации массы связей, требуются следующие входные данные: информация о схеме подключения приборов; количестве и погонной массе связей; протяженности кабельных трасс; приборном составе и его размещении в изделии.

Получение упомянутых данных возможно после завершения следующих работ:

- формирования поблочного состава изделия;
- разработки зональной компоновки изделия;
- разработки электрических коммутационных схем (логических и принципиальных);
- создания трехмерных моделей кабельных трасс.

Представленные выше работы – часть процесса разработки космического аппарата (КА), который состоит из нескольких последовательно выполняемых этапов (аванпроект, эскизный проект, разработка конструкторской документации (РКД) и т. д.). Каждый этап в свою очередь формируется из определенного количества и наименований работ, очередность выполнения которых может быть организована последовательно, параллельно или смешанно. Назначение порядка работ зависит от сочетания следующих факторов:

- наличие объема человеческих ресурсов,
- квалификация исполнителей,
- доступные производственные мощности,
- сроки разработки и др.

Последовательность выполнения описанных выше необходимых работ представлена на рис. 1 (выделено зеленым цветом).

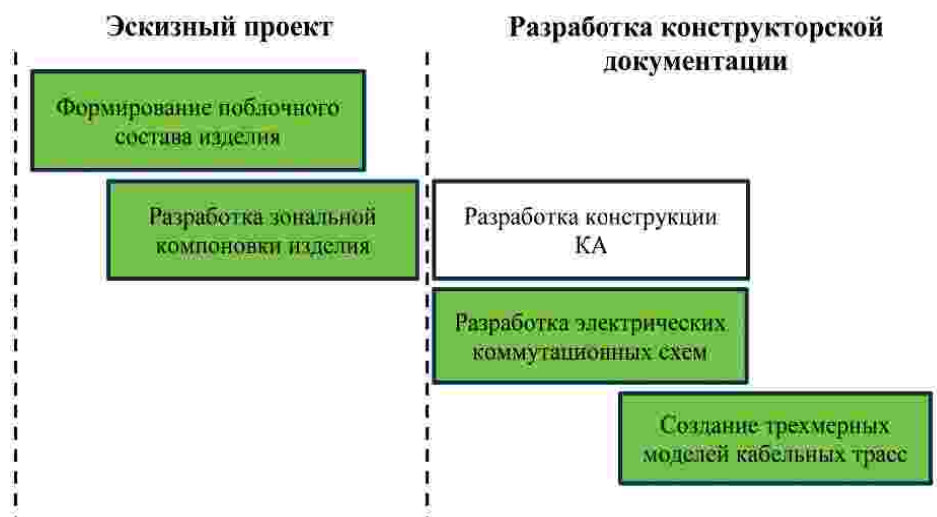


Рис. 1. Распределение работ

Из представленного следует, что все необходимые сведения становятся доступны только на этапе РКД. К этому моменту также завершены работы по разработке конструкции: крепежных элементов приборов (рамы, кронштейны); элементов, обеспечивающих термостатирование (термоплаты, термоплиты); трубопроводов (жидкостные и газовые) и т. д. Основой входных данных для них является расположение бортовой аппаратуры. Необходимость проведения дополнительных корректировок возникает вследствие проведения процесса оптимизации массы кабелей за счет изменения взаимного положения приборов. Для снижения влияния процесса оптимизации на общее время разработки изделия, вводится требование – минимизировать объем необходимых доработок и правок.

Для удовлетворения перечисленных выше требований и ограничений, в рамках решения задачи оптимизации массы кабелей проводится декомпозиция на следующие подзадачи:

1. Учет требований по размещению приборов.
2. Учет требований по допустимой длине кабелей.
3. Учет положения центра массы изделия.

В настоящей статье рассмотрим решение первой подзадачи.

Для поиска оптимального взаимного расположения приборов их предлагается классифицировать.

Из множества всех приборов в изделии  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_N\}$ , где  $N$  – количество, можно выделить подмножество, набор  $B = \{B_1, B_2, \dots, B_g\}$ , где  $g$  – количество групп, объединенных по исполнению в корпусе одного типоразмера (рис. 2). За типоразмер принимаются приборы, обладающие следующими идентичными параметрами:

- габаритными размерами;
- посадочными плоскостями и установочными размерами;
- расположением элементов металлизации;
- способом обеспечения теплового режима.

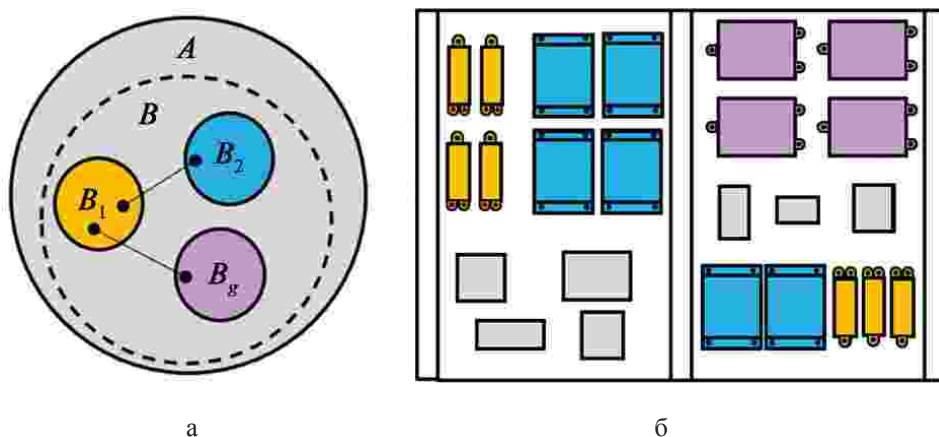


Рис. 2. Типоразмер: *a* – в общем виде; *б* – внутри приборной зоны изделия

В то же время, в рамках одной группы допускается разное расположение, количество, типы электроразъемов на одной грани прибора, а также массо-центровочные характеристики. Сочетание указанных выше параметров формирует уникальный типовой размер. К нему относятся как отличающиеся по функционалу блоки, так и одинаковые в количестве нескольких единиц.

Перестановка местами любой пары приборов, выбранных из одной группы, не требует проведения проверки на соответствие предъявляемым требованиям и ограничениям размещения ввиду того, что для всех членов группы они идентичны и были учтены при первичном размещении.

В качестве примера группы приборов, соответствующего требованиям классификации, рассмотрим блок управления бортовым комплексом (БУБК), предназначенный для электропитания и управления бортовыми системами. Конструктив БУБК построен по принципу модульности конструкции, то есть прибор состоит из унифицированных модулей, набор которых определяется задачей, поставленной перед данным прибором. Количество модулей может варьироваться от пяти до восьми штук. Модульный принцип построения позволяет совмещать в одном приборе функции выдачи команд, приема сигналов и их логическую обработку, а также формирование информации для управления режимами бортовых систем. Один модуль представляет собой рамку с установленной в ней печатной платой и двумя направляющими. Рамки всех модулей имеют одинаковую конструкцию и отличаются только отверстиями под электросоединители. Все модули устанавливаются на общее основание (рис. 3).

Каждое сочетание унифицированных модулей формирует новое исполнение прибора БУБК с уникальными функциональными возможностями, без изменения необходимых для классификации параметров.

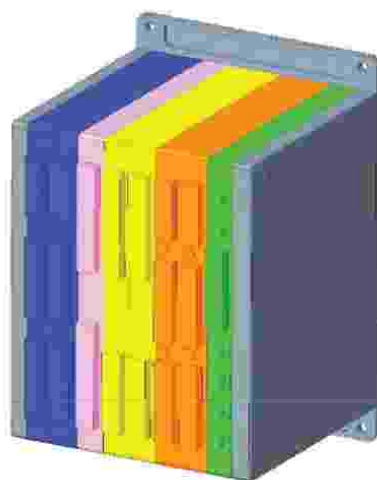


Рис. 3. Типовая конструкция прибора БУБК

Каждое сочетание унифицированных модулей формирует новое исполнение прибора БУБК с уникальными функциональными возможностями, без изменения необходимых для классификации параметров.

Для обеспечения заложенных функций силовой коммутации и командного управления, в состав модуля орбитальной станции входит 33 прибора БУБК в 14 исполнениях, но при этом все они могут быть отнесены к одному типоразмеру. По представленной классификации на основе приборного состава модуля, размещаемого внутри, были выделены еще 8 групп (табл. 2).

Таблица 2

### Группы по типоразмерам

№ группы	Количество, шт	Диапазон масс, кг	Вид
1	33	5,9–6,6	–
2	27	1,7–2,5	–
3	11	–	–
4	10	–	моно
5	8	–	моно
6	7	–	моно
7	6	–	моно
8	5	1,9–2,3	–
9	3	–	моно

Группы, имеющие обозначение «моно», сформированы из одинаковых приборов в количестве нескольких единиц, в ином случае имеются конструктивные отличия, допустимые в рамках классификации. Суммарное количество приборов, попадающих под данную классификацию, составляет 110 ед.

Для подтверждения применимости предлагаемой классификации приборов был проведен анализ конструкции ряда модулей орбитальных станций. Рассматривался как большой модуль (МЛМ), так и малые модули (МИМ1, УМ, МИМ2). На основе поблочного состава и компоновочных чертежей изделия отбирались приборы, выполненные в корпусах одного типоразмера. Приборы, относящиеся к разным типоразмерам, помещались в индивидуальные группы. Суммировалось количество входящих в каждую группу элементов и подсчитывалось отношение полученного значения к общему количеству приборов, размещаемых внутри гермообъема изделия. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

### Доля приборов единого типоразмера

Наименование модуля	МИМ1 «Рассвет»	МЛМ «Наука»	УМ «Причал»	МИМ2 «Поиск»
Доля типоразмеров, %	39	36	25	23

Из полученных данных можно сделать вывод, что исполнение приборов в корпусах одного типоразмера распространено на КА и предложенная методика может применяться и на вновь разрабатываемых изделиях.

## Выводы

Предложенный способ классификации приборов на основе единства типоразмеров их корпусов позволит снизить влияние на общее время разработки изделия при решении задачи минимизации массы между компоновками приборами модулей орбитальных станций, во-первых, за счет исключения необходимости проверки нового положения прибора на соответствие предъявляемым требованиям и ограничениям, во-вторых, за счет сокращения объема проводимых работ по доработке уже разработанной конструкции. Также проведенный анализ показал, что существует ограниченное количество приборов, соответствующих классификации, что обусловлено малой степенью унификации бортовой аппаратуры КА в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Итоговый научно-технический отчет по орбитальному комплексу «Мир». В 17 т. / Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация „Энергия“ имени С.П. Королёва». – Королёв: РКК «Энергия», 2003. – Текст: непосредственный.  
Т. 1: Общие положения по орбитальному комплексу «Мир». – 2003. – 238 с.
2. Горшков, Л.А. Космические проектанты. Воспоминания. – Москва: РТСофт, 2021. – 416 с.
3. Туманов, А.В. Основы компоновки бортового оборудования пилотируемых космических аппаратов. Учебное пособие. – Москва: Издательство Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, 2020. – 755 с.

## REFERENCES

1. Final Scientific and Technical Report on the Mir Orbital Complex. In 17 Volumes / Public Joint Stock Company S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. – Korolev: RSC Energia, 2003. – Text: direct.  
Vol. 1: General Provisions on Mir Orbital Station. – 2003. – 238 p.
2. Gorshkov, L.A. Space Program Designers. Memoirs. – Moscow: RTSoft, 2021. – 416 p.
3. Tumanov, A.V. Spacecraft Onboard Equipment Layout Basics. Training Manual. – Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2020. – 755 p.