

## Тема 9. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### Список сокращений

БНК – базовая несущая конструкция

ВВФ – внешний воздействующий фактор

ЕСКД – Единая система конструкторской документации

РЭА – радиоэлектронная аппаратура

РЭС – радиоэлектронное средство

СРПП – Система разработки и постановки продукции на производство

ЭСИ – электронное средство измерений

T-система – техническая система

### СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>Модульные и базовые конструкции изделий, базовые изделия (Из рекомендаций Р 50-54-103 – 88 Модульные и базовые конструкции изделий. Основные положения)</b>	2
<b>Бобков Н. М. Принцип базового проектирования в радиоаппаратостроении // Справочник. Инженерный журнал. 2003. № 2</b>	10
<b>Бобков Н. М. Агрегатное и модульное проектирование технических систем // Справочник. Инженерный журнал. 2009. № 5</b>	28
<b>Бобков Н. М. Базовые несущие конструкции аппаратуры Нижегородского приборостроительного. Проектирование оболочек герметичных корпусов // Кварц: радиоизмерения и электроника: научно-технический и рекламно-коммерческий периодический журнал НИИПИ «Кварц». 1996. Вып. № 5</b>	39
<b>Содержание хрестоматии</b>	50

## **МОДУЛЬНЫЕ И БАЗОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ, БАЗОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ** (Из рекомендаций Р 50-54-103 – 88 Модульные и базовые конструкции изделий. Основные положения)

Рекомендации Р 50-54-103-88 распространяется на изделия машиностроения и приборостроения и устанавливают основные требования к модульным и базовым конструкциям и их составным частям с целью единого подхода к разработке и производству изделий на основе модульного и базового принципов конструирования.

Рекомендации входят в комплекс нормативно-технических документов по унификации и предназначены для научно-исследовательских и конструкторско-технологических подразделений, занимающихся разработкой, модернизацией и унификацией новой техники. В части базовых конструкций (изделий) рекомендации разработаны взамен ГОСТ 23945.1 – 80.

### **1. Общие положения**

1.1. Основными целями модульного и базового принципов конструирования новой техники является улучшение эксплуатационных свойств, сокращение сроков разработки и постановки на производство, создание условий для организации специализированных производств составных частей изделий.

1.2. Сущность модульного принципа конструирования состоит в создании изделий на основе специально разработанной ограниченной номенклатуры модульных составных частей путем их различной компоновки по выбранным компоновочным схемам. Создание новой техники путем модульного конструирования основано на рациональной унификации присоединительных размеров и главных параметров модульных составных частей и обеспечении их функциональной и конструктивной совместимости.

1.3. Сущность базового принципа конструирования состоит в создании ряда (семейства) изделий на основе выбранной из числа существующих или специально разработанной базовой конструкции (базового изделия). Базовый принцип конструирования при создании новой техники может быть использован как самостоятельно, так и совместно с модульным принципом конструирования.

1.4. Предпосылками использования модульного и базового принципов конструирования при разработке новой техники служат:

наличие однотипных составных в изделиях ряда;

принадлежность составных частей соответствующим типоразмерным рядам;  
возможность подчинения габаритов, присоединительных размеров составных частей установленному проектному модулю.

1.5. Модульные и базовые конструкции целесообразно использовать при большой номенклатуре изделий машиностроения с высокими показателями уровня унификации составных частей, а также при разработке модификаций изделий ряда.

## **2 Основные принципы построения модульных конструкций изделий**

2.1. Основным принципом построения модульных конструкций является системный подход, при котором совокупность изделий, предназначенных для решения определенных задач рассматривается как сложная система, состоящая из ряда функциональных подсистем, общих для всех или большинства изделий.

2.2. Каждая такая подсистема может рассматриваться как унифицированная составная часть изделия. В свою очередь подсистема может разбиваться на функционально законченные устройства второго уровня деления и т. д. Таким образом, в общем случае может иметь место многоуровневая модульная конструкция изделия.

2.3. Особенность модульных составных частей заключается в подчинении их габаритов и присоединительных размеров установленному проектному модулю.

2.4. Основные принципы построения модульных конструкций изделий:  
преимущество конструктивных и технологических решений;  
многократная конструктивная и технологическая обратимость модульных составных частей;  
совместимость по габаритным, установочным и присоединительным размерам, которые должны соответствовать проектному модулю или быть кратными ему;  
максимально возможная взаимозаменяемость модульных составных частей;  
возможность различной компоновки модульных составных частей между собой с целью получения конструкций изделий различного назначения и структуры.

2.5. Построение модульных конструкций может осуществляться путем:  
комплектования изделий из унифицированных модульных составных частей;

комбинирования унифицированных модульных составных частей со сборочными единицами специального назначения (оригинальными составными частями);

последовательного наращивания унифицированных модульных составных частей с целью изменения основных характеристик изделий.

### **3. Основные требования к компоновочной схеме, модулю и составным частям при модульном конструировании изделий**

3.2. Модульная составная часть должна иметь габариты, присоединительные размеры, соответствующие установленному проектному модулю либо кратны ему.

3.3. Модульная составная часть модульного изделия может принадлежать соответствующему унифицированному типоразмерному ряду или быть оригинальной при выполнении условий п. 2.4.

3.4. Модульные составные части модульных изделий должны обеспечивать возможность перекомпоновки их между собой и (или) с базовым изделием с целью получения рационального варианта компоновочной схемы, исходя из требований, заложенных в модульное изделие.

3.5. Модульные составные части должны отвечать требованиям максимально возможной конструктивной и функциональной законченности, а также функциональной и конструктивной совместимости между собой и (или) с базовым изделием.

3.6. Конструктивные и технологические решения модульных составных частей должны обеспечивать максимально возможную их взаимозаменяемость, а также создание модификаций изделий на основе применения унифицированных типоразмерных рядов этих составных частей.

3.8. Компоновочная схема должна охватывать все оригинальные и унифицированные модульные составные части разрабатываемых изделий

3.9. Компоновочная схема предусматривает возможность перекомпоновки модульных составных частей в соответствии с требованиями технического задания на разработку изделий.

3.10. Компоновочная схема обеспечивает путем снятия, замены, присоединения модульных составных частей модернизацию изделий в соответствии с техническим заданием на его разработку.

3.11. Компоновочная схема должна обеспечивать возможность проведения работ по оптимизации технико-экономических показателей изделия (материалоемкость, энергоемкость, надежность, занимаемая площадь и пр.).

3.12. Компоновочная схема должна предусматривать возможность проведения работ по рациональной унификации присоединительных размеров и главных параметров модульных составных частей в соответствии с требованиями технического задания на разработку изделий.

#### **4. Порядок работ по модульному конструированию в машино- и приборостроении.**

4.1. В зависимости от характера задач, решаемых при модульном конструировании, различают: модульное конструирование новой техники при отсутствии базового изделия (прототипа, аналога); модульное конструирование новой техники на основе базового изделия (прототипа, аналога).

4.2. Проведение работ по модульному конструированию новой техники при отсутствии базового изделия (прототипа, аналога) включает этапы:

выбор типовой компоновочной схемы;

выбор и обоснование рациональной номенклатуры унифицированных модульных составных частей обоснование разработки оригинальных модульных составных частей, обеспечивающих реализацию функциональных требований к изделию;

выбор и обоснование проектного модуля;

проведение ОКР по созданию унифицированных модульных составных частей, разработка нормативных документов (стандартов, альбомов, каталогов), регламентирующих номенклатуру, параметры, размеры, технические требования к унифицированным модульным составным частям;

организация специализированных производств по изготовлению унифицированных модульных составных частей; разработка изделий с использованием модульных составных частей.

4.3. Проведение работ по модульному конструированию при создании новой техники на основе базового изделия (прототипа, аналога) включает этапы:

анализ компоновочной схемы базового изделия и определение номенклатуры модульных составных частей, подлежащих использованию в разрабатываемых модификациях;

если базовое изделие не задано, то разрабатывается компоновочная схема нового базового изделия;

выбор и обоснование номенклатуры оригинальных модульных составных частей, реализующих различные функции модификаций и отвечающих требованиям к составным частям при модульном конструировании;

проведение ОКР по созданию оригинальных модульных составных частей, при необходимости, разработка их каталога и рациональных компоновочных схем модификации изделий;

организация (при необходимости) специализированного производства модульных составных частей, являющихся общими для базового изделия и его модификаций.

4.4. Альбомы типовых конструкций модульных составных частей и типовых компоновочных схем изделий должны содержать используемые при проектировании типовые решения и информацию о применяемых в отрасли унифицированных изделиях, конструкциях, схемных и компоновочных решениях.

4.5. Разработанный типоразмерный ряд составных частей является обязательным для применения при проектировании новых изделий в соответствии с установленной областью применения.

## **5. Основные требования к разработке (выбору) базового изделия и базовой конструкции**

5.1. Основные требования к базовому изделию и базовой конструкции.

5.1.1. Базовое изделие должно иметь перспективу его использования для создания модификаций на установленный период времени для изделий данного типа.

5.1.2. Базовое изделие должно удовлетворять всем требованиям, согласованным с потребителем (заказчиком), а также нормам, правилам и требованиям всех стандартов на данный вид техники и действующим ограничительным перечням изделий и материалов, разрешенных к применению.

5.1.3. Базовое изделие должно содержать максимальное количество составных частей, используемых в модификациях.

5.1.4. Базовое изделие должно обеспечивать разработку модификаций за счет дополнительного присоединения, снятия (замены) или изменения пространственного сочетания различных составных частей.

5.1.5. К базовому изделию и (или) его основным составным частям должны предъявляться наиболее жесткие требования, обеспечивающие выполнение требований, предъявляемых ко всем его модификациям.

5.1.6. Базовая конструкция устанавливает постоянную составляющую проектируемого ряда изделий, которая характеризуется обобщенными данными о составе ее частей, их назначении и взаимном расположении.

5.1.7. Базовая конструкция включает количественные и качественные характеристики по каждому конкретному изделию ряда относительно размеров, форм, материалов, составных частей и их соединения между собой.

#### 5.2. Разработка (выбор) базового изделия

5.2.1. В общем случае разработка (выбор) базового изделия и базовой конструкции должны осуществляться одновременно с проведением работ по построению рядов изделий и их составных частей.

#### 5.2.2. Базовое изделие разрабатывается (выбирается) при:

наличии изделия, отвечающего требованиям, предъявляемым к базовому изделию, которые должны учитываться при разработке новых изделий ряда;

отсутствии изделия; в этом случае на основе анализа существующих изделий необходимо проведение НИР и (или) ОКР для разработки нового изделия, отвечающего требованиям к базовому изделию, установленным настоящими рекомендациями.

5.2.3. Разработка (выбор) базового изделия осуществляется исходя из основных требований к нему и сравнительного анализа по признакам общности существующих и (или) разрабатываемых изделий ряда на основе:

совокупности номенклатуры и значений главного и основных параметров;

модульного принципа;

количества выполняемых функций;

доминирующих признаков.

5.2.4. Критерием выбора базового изделия по всей номенклатуре и значениям его главных и основных параметров является их максимальное соответствие установленным для изделий данного вида базовым показателям качества.

5.2.5. Критерием выбора базового изделия в модульном конструировании является наличие максимального количества функционально и конструктивно законченных составных частей, входящих в состав постоянной составляющей ряда.

5.2.6. Критерием выбора базового изделия по количеству выполняемых функций является число основных и вспомогательных функций, выполняемых изделием в ряду его модификаций.

5.2.7. Критерием по доминирующим признакам является количественная оценка установленных для изделий данного вида признаков общности (наличие металлоемких, дорогостоящих, быстро или малоизнашивающихся деталей и т. д.).

В необходимых случаях в качестве сравниваемых используют признаки общности, не входящие в состав самих изделий (технологических процесс, оборудование, оснастка и т. д.).

5.2.8. Другие признаки общности при определении базового изделия устанавливаются в отраслевых стандартах или другой нормативно-технической документации.

5.3. Базовое изделие (конструкция) при модульном конструировании должно дополнительно удовлетворять требованиям:

обеспечивать возможность перекомпоновки составных частей;

дополнять, при необходимости, до полной функциональной и конструктивной совместимости сопрягаемые с ней составные части;

присоединительные размеры должны быть равны или кратны установленному проектному модулю.

5.4. Разработка (выбор) базовой конструкции в общем случае предусматривает проведение следующего состава работ:

изучение и анализ конструкций изделий данного вида, в том числе зарубежных;

сравнительный анализ существующих изделий и (или) конструктивных решений и выявление из них единого конструктивного решения, применение которого возможно в последующих разработках изделий ряда;

проведение экспериментальных работ по совершенствованию конструктивных решений;

проведение расчетных работ;

создание макетов, их исследование и испытание;

определение возможности унификации конструктивных элементов;

разработка экспериментальных образцов, их исследование и испытание;

стандартизация конструкции и основных размеров.

5.5. Результатом разработки (выбора) базовой конструкции в общем случае будут чертежи базовой конструкции (выполненные по ГОСТ 2.113 – 75) и стандарт на базовую конструкцию вида «Конструкция и размеры».

ПРИЛОЖЕНИЕ К Р 50-54-103 – 88

Термины, применяемые в рекомендациях, и их определения

Термины	Определения
Модульное конструирование	Принцип создания изделий из ограниченной номенклатуры специально разработанных модульных составных частей
Модульная конструкция	Конструкция изделия, выполненного на модульном принципе
Модульная составная часть	Конструктивно, функционально и технологически законченная составная часть, рассматриваемая без дальнейшего деления, отвечающая требованиям конструктивной и функциональной совместимости, габариты и присоединительные размеры которой соответствуют установленному проектному модулю
Модуль функциональный	Модульная составная часть, выполняющая свои функции самостоятельно в составе изделия и (или) вне его
Модуль проектный	Геометрический параметр – линейная, плоская или объемная величина, принятая для выражения кратных соотношений размеров составных частей
Базовая конструкция изделия	Конструктивное решение, предназначенное для применения в конструкциях изделий ряда
Базовое изделие	Конкретное изделие, основные составные части которого обязательны для применения при конструировании изделий ряда
Постоянная составляющая	Совокупность составных частей (сборочных единиц, деталей) или их чертежей, а также требований, применение которых распространяется на все изделия проектируемого ряда в заданных пределах
Модификация	Изделие из семейства однотипных технических устройств, незначительно отличающихся от базового изделия

Бобков Н. М.

## **ПРИНЦИП БАЗОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В РАДИОАППАРАТОСТРОЕНИИ**

Справочник. Инженерный журнал. 2003. № 2

При создании несущих систем многих видов **радиоэлектронных средств** (РЭС) применяется метод проектирования с использованием так называемых **базовых несущих конструкций** (БНК) – метод БНК или базовый метод [1, 2, 3]. В основе этого метода лежит общетехнический принцип базового проектирования [4], но в публикациях по конструированию РЭС метод БНК обычно отождествляется с модульным проектированием [5]. Например, базовый метод конструирования [1] – это метод, в основу которого положено деление аппаратуры на конструктивно и схемно законченные части; базовый метод проектирования [6] – это метод, в основу которого положен принцип разделения РЭС на функционально и конструктивно законченные части (модули). Такая интерпретация метода БНК ничем не обоснована.

Несущие системы РЭС представляют собой строительные сооружения, принципиально не отличаются от несущих систем станков, самолетов, мостов и т. д., и методы их проектирования должны основываться на тех же принципах, что и методы проектирования других видов техники.

Цель этой статьи – рассмотреть метод БНК в ряду общетехнических методов обеспечения преемственности конструкций изделий, основанных на принципах базового, группового и модульного проектирования [4, 5].

Наукой о конструировании технических объектов до настоящего времени не выработано единой терминологии. Поэтому в этой статье сопровождаются пояснениями многие распространенные в публикациях по конструированию термины, значения которых принято считать известными, и которые обычно употребляются без определений. Будем называть **конструктивным решением изделия** некоторую совокупность продуманных свойств изделия, которые должны быть приданы изделию при изготовлении. Конструктивное решение может характеризоваться составом, структурой, формой, размерами, материалами изделия или его элементов, взаимным расположением и взаимодействием элементов изделия.

**Конструкция изделия** – множество конструктивных решений, установленное конструкторской документацией на изделие, необходимое для однозначного изготовления изделия с заданными эксплуатационными характеристиками. Конструкция в этом значении представляет собой абстрактное отражение изделия [7], его идеальную (т. е. не материальную) модель. Часто слово «конструкция» используется в другом значении – совокупность физических тел и веществ, предназначенная для выполнения некоторых функций. Такое значение имеет это слово, например, в терминах «несущая

конструкция» и «базовая несущая конструкция». Чтобы избежать недоразумений ввиду неоднозначности слова «конструкция» вместо термина «несущая конструкция» в этой статье используется его менее распространенный эквивалент «несущая система» или «несущее изделие» в тех случаях, когда несущая система представляет собой изделие в значении по ЕСКД. Вместо термина «базовая несущая конструкция» далее будет применяться в качестве самостоятельного термина аббревиатура БНК [8].

Создание конструкции любого изделия (машины, прибора и т. д.) начинается с поиска и изучения *аналогов* – находящихся в производстве или разработке изделий, предназначенных для удовлетворения тех же потребностей, что и разрабатываемое. Разработка нового изделия в отсутствии аналогов, рассматриваемая в некоторых публикациях по конструированию, представляет собой скорее теоретическую абстракцию, чем реальное положение вещей.

На практике более или менее близкие аналоги существуют всегда. Если отсутствуют промышленно изготавливаемые аналоги, то существуют аналоги в виде экспериментальных образцов, созданных в ходе поисковых научно-исследовательских работ или разработок аванпроектов. Аналогами могут быть изделия, информация о которых содержится в описаниях изобретений. Аналогом может служить совокупность нескольких изделий, совместно выполняющих ту же функцию, что и разрабатываемое изделие.

Поиск и изучение аналогов часто представляет собой сложную в организационном и техническом отношении задачу, во многом определяющую ход дальнейшей разработки нового изделия, но никогда в техническом задании на разработку не ставится задача изобрести новое изделие. Наоборот, нередки случаи, когда задача разработки состоит в воспроизведении (копировании) существующего изделия. Чаще же всего разработка конструкции нового изделия заключается в изменении (более или менее значительном) конструкции некоторого существующего изделия.

Использование при создании конструкции нового изделия опыта создания и применения существующих изделий или опыта создания совместно с ним разрабатываемых изделий называют преемственностью конструкций изделия. Различают конструктивную и технологическую преемственности. Содержание и объем этих понятий также не установлены однозначно. В некоторых публикациях, например в [9], понятие «преемственность» практически эквивалентно понятию «унификация изделий» по ГОСТ 23945.0 – 80 [10]. Унификация является единственным методом обеспечения конструктивной преемственности в значении по ГОСТ 14.004 – 83 [11] (*конструктивная преемственность изделия* – совокупность свойств изделия, характеризуемых единством повторяемости в нем составных частей, относящихся к изделиям данной классификационной группы, и применимости новых составных частей, обусловленных его функциональным назначением).

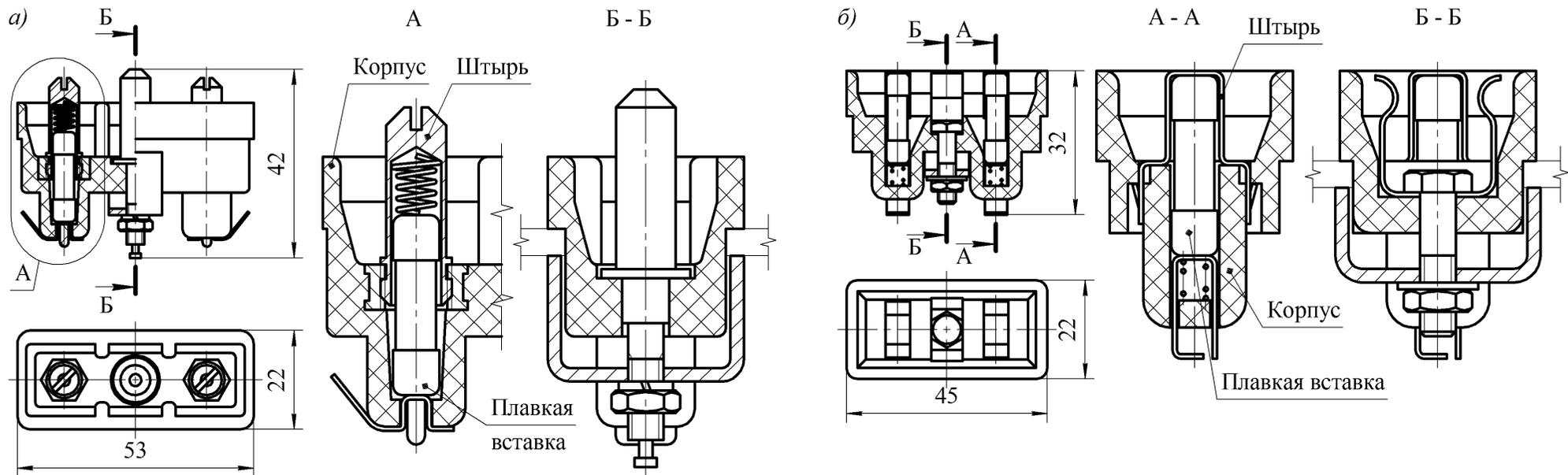


Рис. 1

Целесообразнее более широкая трактовка этих понятий, например, в соответствии с определениями из [4]: **преемственность конструкции изделия** представляет собой совокупность свойств изделия, выражающих его технологичность с точки зрения единства изменяемости и повторяемости принятых в его конструкции инженерных решений; **конструктивная преемственность** – совокупность свойств изделия, характеризующих единство повторяемости в нем компонентов (конструктивных элементов и связей между ними), относящихся к множеству исполнений изделия, и применимости новых компонентов, новизна которых обусловлена функциональным назначением изделия. Признаком преемственности по [4] является единство повторяемости и применимости инженерных решений, а не только составных частей (т. е. изделий), как в определении по ГОСТ 14.004 – 83. Конструктивная преемственность по этому определению может быть и в отсутствии унификации. На рис. 1 изображены конструкции двух вилок, предназначенных для подключения шнуров сетевого электропитания к переносным РЭС. Вилка, изображенная на рис. 1, б, проектировалась для замены вилки, изображенной на рис. 1, а. Унификации по составным частям, а, следовательно, и преемственности в значении по ГОСТ

14.004 – 83 между ними нет. Но между этими вилки существует единство по таким конструктивным решениям как принцип работы и общая структура, а значит можно говорить о конструктивной преемственности в значении по [4].



Рис. 2

Унификация должна рассматриваться как один из основных (но не единственный) практических методов обеспечения преемственности (рис. 2). При конструировании изделий следует различать *унификацию изделий по составным частям* (т. е. по ГОСТ 23945.0 – 80) – приведение изделий к единообразию на основе установления рационального числа их разновидностей и *унификацию изделий по конструктивным решениям* – приведение конструктивных решений изделий к единообразию на основе установления рационального числа их разновидностей.

Метод проектирования, основанный на использовании при разработке новой конструкции хорошо зарекомендовавших себя конструктивных

решений и составных частей существующих изделий, будем называть **методом прототипа** [12].

**Прототип изделия** – изделие, предшествовавшее разрабатываемому, являющееся наиболее близким к нему по основным характеристикам (функциональному назначению, конструкции, производственным и другим данным), основные составные части и/или конструктивные решения которого используются в разрабатываемом изделии.

В отличие от аналогов прототипы имеются не у каждого нового изделия. Часто разработка ведется в отсутствие подходящих прототипов. В некоторых случаях разработчики сознательно не используют конструктивные решения существующего прототипа, например с целью обеспечения патентной чистоты или повышения конкурентоспособности нового изделия.

Метод прототипа используется и при создании принципиально новых изделий: при разработке тех составных частей нового изделия, для которых имеются прототипы, и при совершенствовании на последующих стадиях работы удачных конструктивных решений и составных частей, созданных на начальных стадиях. Использование метода прототипа сокращает время на создание новых изделий в результате: исключения из подготовительной фазы разработки нового изделия

трудоемких научно-исследовательских и аванпроектных работ или сокращения их объемов, сокращения количества необходимых стадий при выполнении проектирования, уменьшения времени на поиск и проверку конструктивных решений, сокращения объема и сроков разработки рабочей конструкторской документации, уменьшения объемов доводочных испытаний и т. д.

Наряду с термином «прототип» для обозначения сходных понятий используются термины «базовое изделие», «базовая конструкция», «базовая модель» и т. д. Часто эти термины используются как синонимы. Чтобы разобраться в значениях этих терминов и отвести каждому из них свое место в терминологической системе рассмотрим несколько определений.

**Базовое изделие:** 1) конкретное изделие, основные составные части которого *обязательны* для применения при конструировании изделий ряда [13]; 2) изделие, которое является основной *обязательной* частью ряда изделий, отличающихся друг от друга выполняемой служебной функцией и конструкцией некоторых составных частей [14].

**Базовая конструкция** – конструкция изделия, его сборочных единиц и деталей, отображенная на чертежах, а также в требованиях, определяющих конструктивное решение, *обязательное* для применения при конструировании изделий ряда [13].

Обязательность использования элементов базового изделия или базовой конструкций при проектировании некоторой совокупности изделий целесообразно рассматривать в качестве признака, выделяющего базовое изделие (базовую конструкцию) из других прототипов. Требование об обязательности использования при разработке нового изделия элементов базовых изделий и базовых конструкций, а также о разработке нового изделия в качестве базового принадлежат к числу стандартных требований по унификации изделий и устанавливается в технических заданиях на опытно-конструкторские работы. Для некоторых видов изделий необходимость использования базовых изделий и базовых конструкций устанавливается стандартами.

**Базовый метод проектирования** можно рассматривать как частный случай метода прототипа. На практике этот метод имеет два варианта. Первый вариант состоит в применении базового изделия, второй – в применении базовой конструкции.

**Базовое изделие** – изделие-прототип, основные части которого обязательны для применения в некоторой совокупности разрабатываемых изделий.

**Базовая конструкция** – конструкция прототипа, основные конструктивные решения которой обязательны для применения при разработке конструкций некоторой совокупности изделий.

Понятия «базовое изделие» и «базовая конструкция» по этим определениям аналогичны понятиям «базовое изделие» и «базовая конструкция» по приведенным выше определениям из ГОСТ 23945.1 – 80 [12].

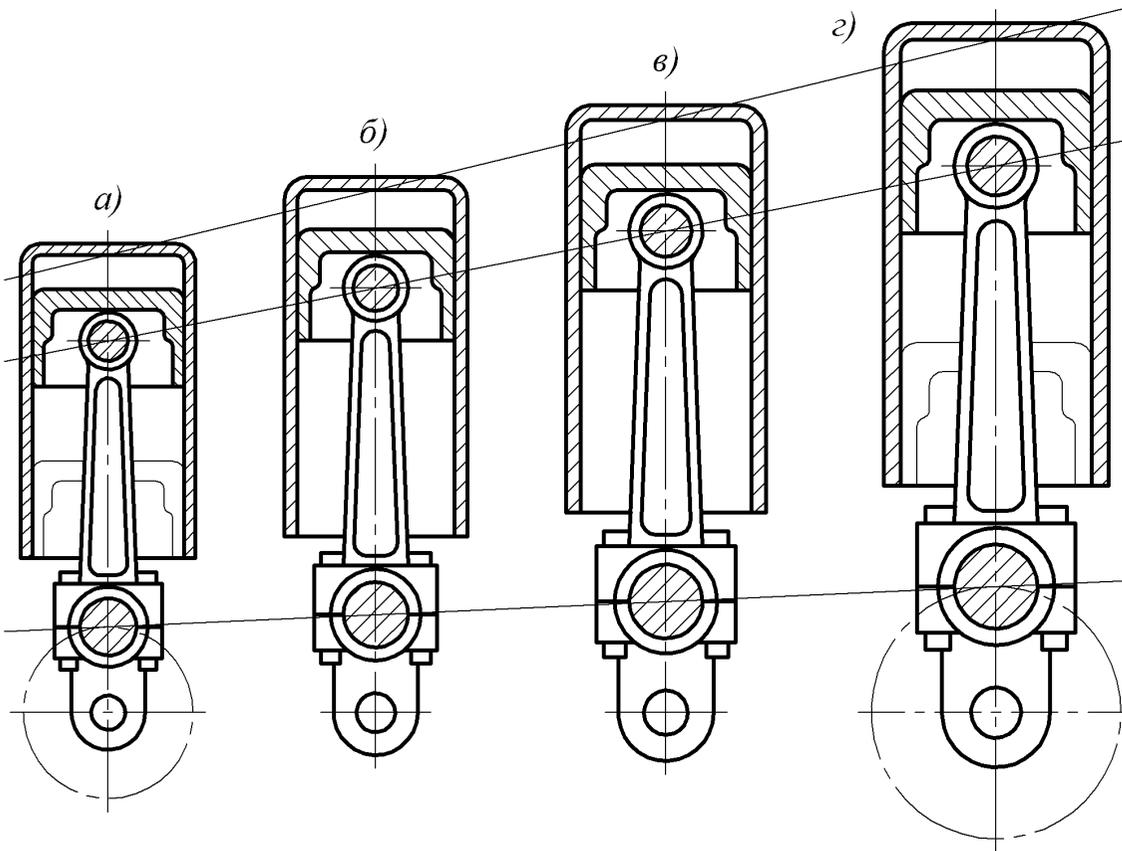


Рис. 3

отличие от базового изделия из базовой конструкции заимствуются не материальные объекты – изделия, а идеальные – конструктивные решения.

Проектирование на основе базовых изделий применяется в многих отраслях промышленности. Всем известны базовые модели серийных автомобилей и их модификации. Например, базовое изделие – грузовик с одним ведущим мостом ГАЗ – 3302 «Газель», модификации – грузовик с двумя ведущими мостами ГАЗ – 33027, грузовики со сдвоенной кабиной ГАЗ – 33023 (с одним ведущим мостом) и ГАЗ – 330273 (с двумя ведущими мостами), микроавтобусы ГАЗ – 3221, ГАЗ – 32217 и др.

Разница между базовым изделием и базовой конструкцией состоит в следующем:

базовое изделие обеспечивает разработку модификаций за счет дополнительного присоединения, снятия, замены или изменения пространственного сочетания различных составных частей. Базовое изделие является основной составной частью модификации, включается в спецификацию модификации как примененная сборочная единица (деталь, комплекс, комплект) и изготавливается по своему комплекту конструкторских документов;

базовая конструкция устанавливает количественные и качественные характеристики по каждому конкретному изделию ряда относительно размеров, форм, материалов, составных частей и их соединений между собой. Конструкторская документация, содержащая информацию о базовой конструкции, используется не для изготовления по ней изделий, а как образец для разработки конструкторской документации нового изделия, по которой новое изделие и должно изготавливаться. В

Для иллюстрации метода проектирования с использованием базовой конструкции в качестве примера рассмотрим возможную процедуру проектирования размерно-подобного ряда поршневых двигателей (рис. 3) [15]. Сначала проектируется и доводится до производства один представитель этого ряда двигателей (например, изображенный на рис. 3, *а*). Если конструкция этого двигателя получилась удачной, конструкции других представителей ряда получаются изменением геометрических размеров при соблюдении подобия как геометрических размеров, так и рабочих процессов. Конструкция двигателя, изображенного на рис. 3, *а* является в этом случае базовой для конструкций двигателей, изображенных на рис. 3, *б – г*.

Групповое проектирование, в основе которого лежит принцип группового проектирования [4], имеет много общего с базовым методом проектирования. Суть группового проектирования состоит в одновременном (параллельном) проектировании конструктивно-унифицированного ряда изделий. На практике групповое проектирование осуществляется в следующей последовательности:

- 1) выбирают типовой представитель проектируемого ряда изделий;
- 2) проектируют типowego представителя;
- 3) используя типowego представителя как прототип, проектируют конструкции других представителей ряда; при необходимости по результатам проектирования всех представителей ряда в конструкцию типowego представителя вносят изменения;
- 4) после оценки конструкций всех представителей ряда разрабатывается конструкторская документация на все изделия ряда.

В отличие от базового метода проектирования, когда прототипом является разработанное и часто серийно выпускаемое изделие, вносить изменения в конструкцию которого нельзя или, по крайней мере, сложно, при групповом проектировании есть возможность после предварительного проектирования всех изделий ряда внести изменения в конструкцию прототипа. При групповом проектировании взаимная преемственность изделий разрабатываемого ряда обеспечивается наиболее полно. Недостатком метода является возможность использования лишь при создании относительно несложных изделий. Даже у больших конструкторских организаций для параллельного проектирования нескольких сложных объектов техники может не хватить ресурсов.

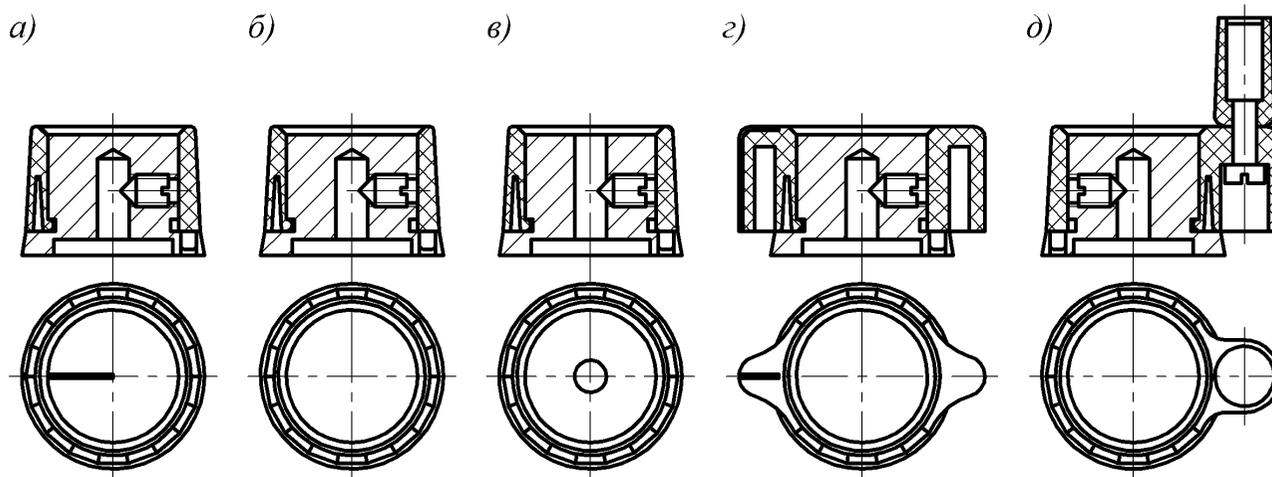


Рис. 4

При создании несложных изделий групповое проектирование применяется широко. На рис. 4 приведены конструкции приборных ручек управления, разработка которых велась с использованием этого метода [16]. Изображенные ручки являются представителями типоразмерных рядов, включающих в себя большое количество исполнений, отличающихся наружными диаметрами, диаметрами осей, на которые устанавливаются ручки, способами крепления ручек на осях и цветом пластмассовых деталей.

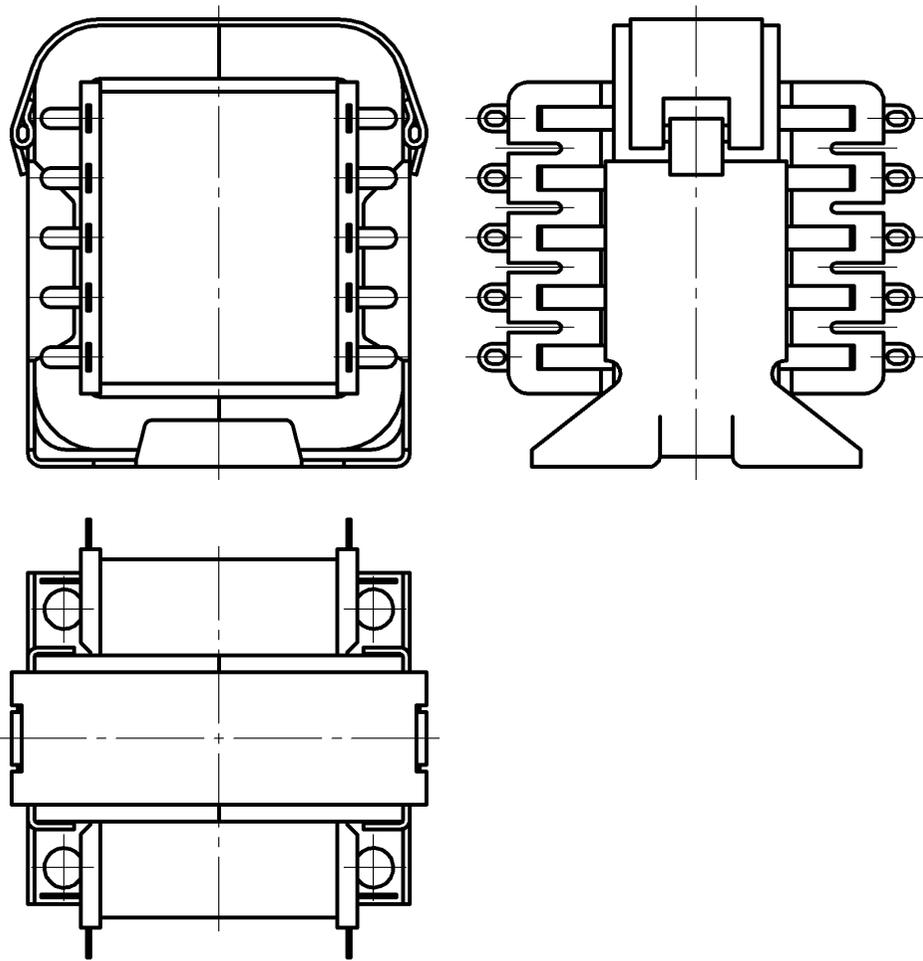


Рис. 5

Базовый и групповой методы проектирования используется и при создании РЭС. На рис. 5 изображен силовой трансформатор – представитель типоразмерного ряда базовых изделий, применяемых при разработке силовых трансформаторов и дросселей для источников питания РЭС. В состав типоразмерного ряда входят трансформаторы на стандартных магнитопроводах различных размеров. На их основе для конкретных условий применения (количества и схем соединения обмоток, рабочих токов и напряжений) проектируются модификации трансформаторов и дросселей, отличающиеся от базовых только катушками. Остальные составные части базовых трансформаторов, включая и каркасы катушек, без переделок используются в модификациях.

На рис. 6 изображен тройник, применяемый для подключения пробника высокочастотного вольтметра к коаксиальному волноводу. Этот тройник послужил базовым изделием при проектировании тройника, изображенного на рис. 7. В отличие от трансформаторов по рис. 5, первые представители которых изначально проектировались как базовые изделия, тройник по рис. 6 проектировался как единичное изделие и был выбран в качестве базового, когда возникла потребность в тройнике по рис. 7.

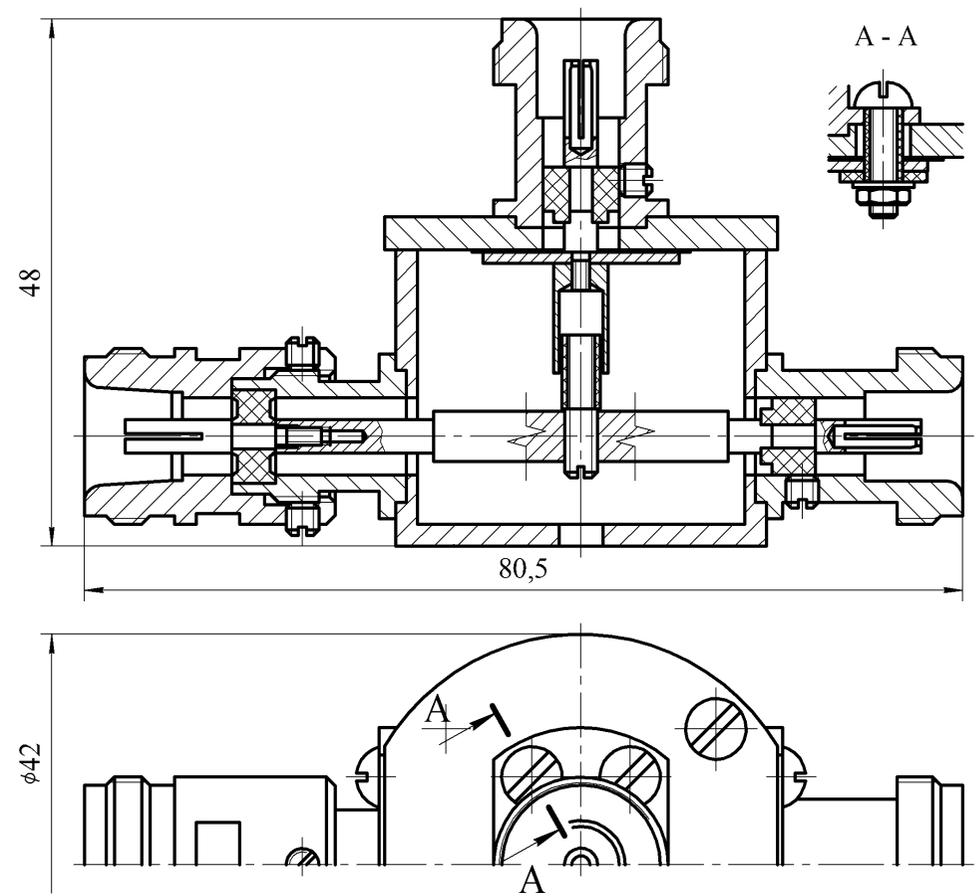
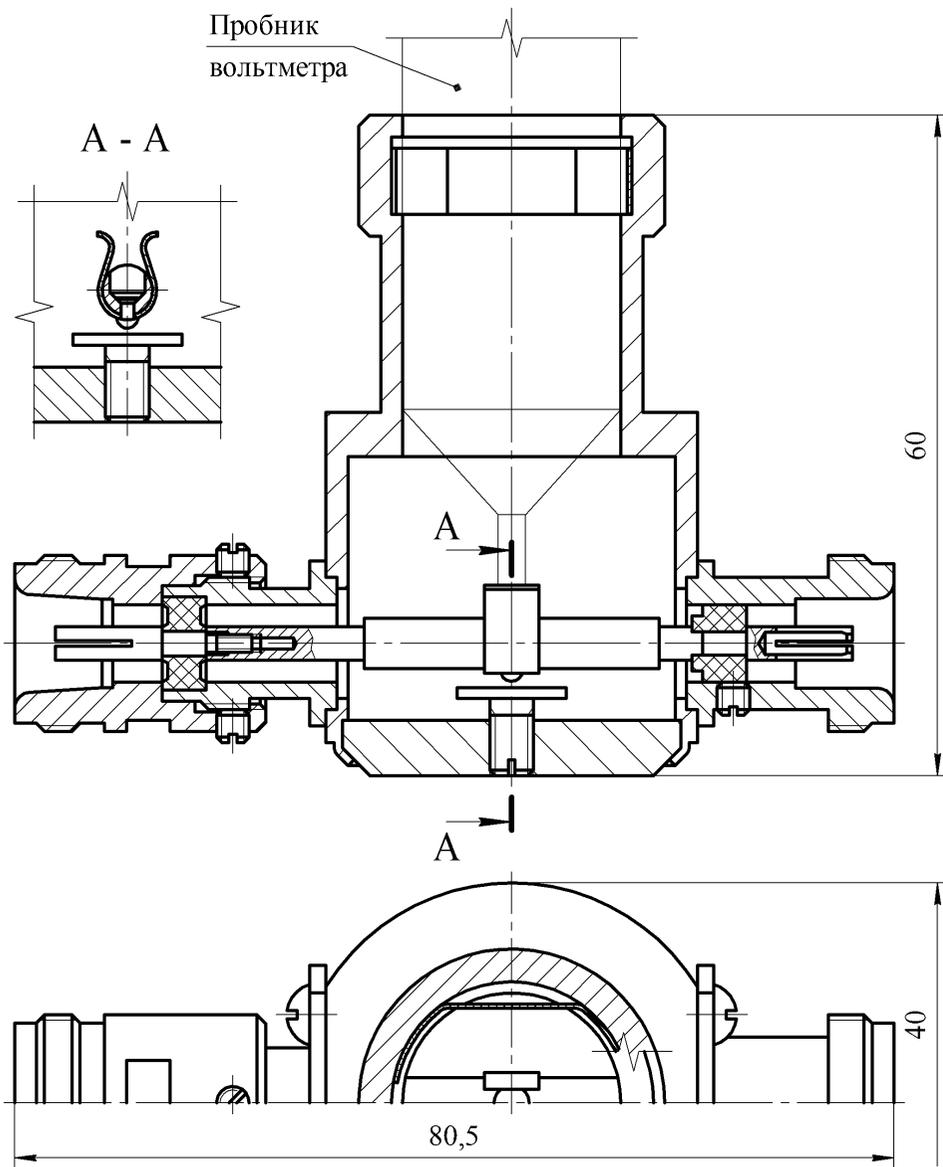


Рис. 7

← Рис. 6

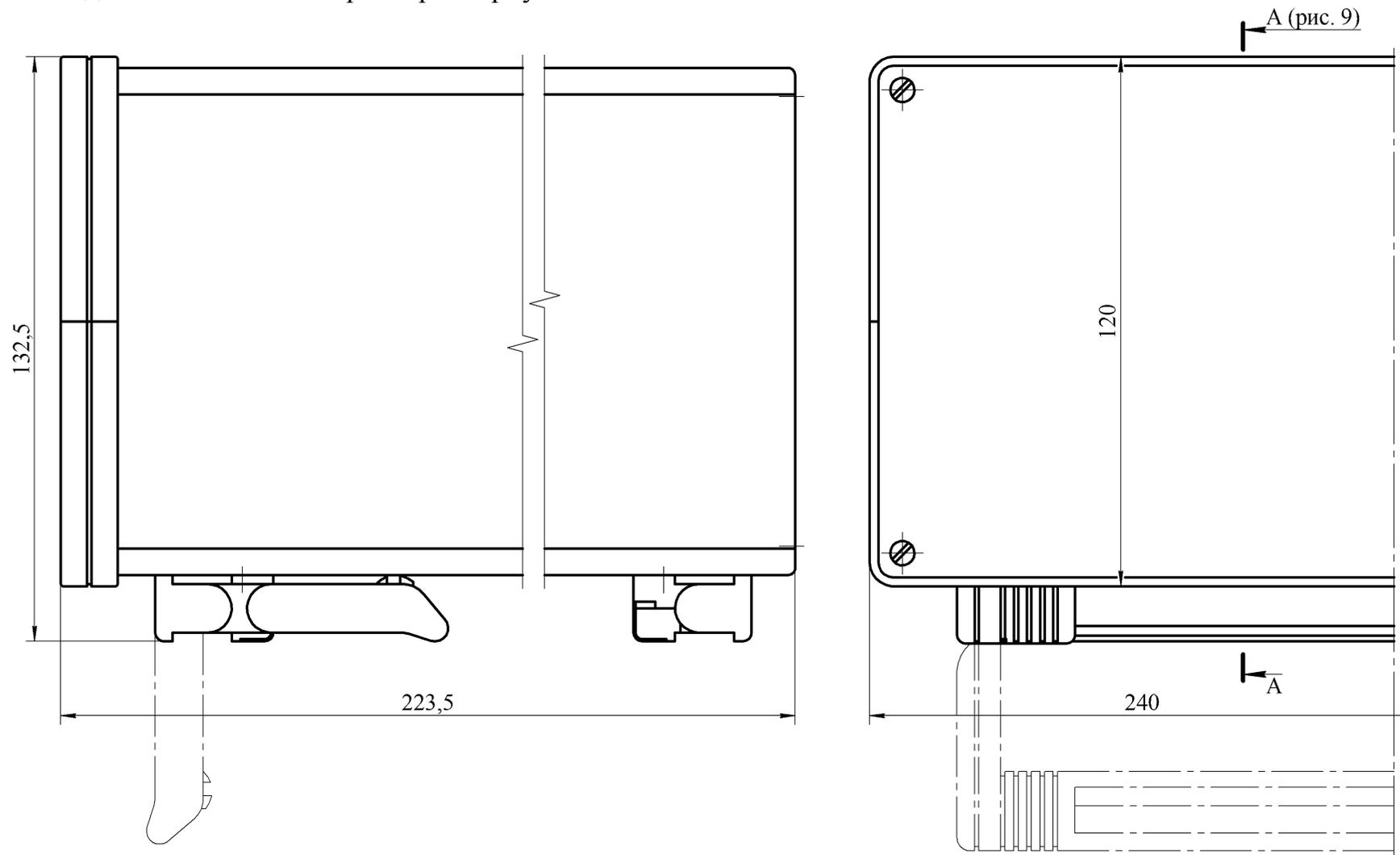
В публикациях по конструированию РЭС при рассмотрении методов создания конструкций РЭС, основанных на принципе базового проектирования, случаи подобные проектированию трансформаторов и тройника обычно не рассматриваются. Принцип базового проектирования в этих публикациях почти исключительно связывают с проектированием несущих систем РЭС с использованием БНК. Понятие «БНК» не имеет однозначного стандартного определения. В большинстве случаев это понятие используется в соответствии с разработанным в 1978 г. и в настоящее время отмененном ОСТ4 Г0.410.206 [17]: БНК – несущая конструкция, являющаяся основой для разработки модификаций изделий РЭС. По этому определению БНК представляет собой разновидность базовых изделий (или базовых конструкций), применяемым при конструировании других видов техники.

В работах, публикуемых после введение в действие ГОСТ 26632 – 85 [18], обычно ссылаются на определение из этого стандарта: БНК – несущая конструкция, габаритные размеры которой стандартизованы. Ссылки эти носят формальный характер. Содержание понятия «БНК» по последнему стандарту настолько не соответствует сложившимся у специалистов по конструированию РЭС представлениям, что на практике термин «БНК» продолжают применять в значении по ОСТ4 Г0.410.206. В [3], например, к взятому из ГОСТ 26632 – 85 определению этого термина приводятся дополнительные пояснения, возвращающие ему привычное значение по ОСТ4 Г0.410.206. Термин «БНК» не является общепринятым. В некоторых документах для обозначения аналогичного понятия используются термин «УТК» (унифицированная типовая конструкция [19, 20] или универсальная типовая конструкция [21]).

Если объем и содержание понятия «БНК» устанавливать не из формально приводимых определений, а на основе анализа текста документов (например, [1 – 3, 19, 21] и др.) и практики конструирования РЭС, то можно сделать вывод, что это понятие представляет собой объединение понятий «базовое несущее изделие» и «базовые конструкции несущих изделий (несущих систем)». Метод БНК, который заключается в использовании при проектировании несущих систем РЭС базовых несущих изделий и базовых конструкций несущих изделий, основывается на общетехническом принципе базового проектирования [4].

На рис. 8 и 9 изображен один из простейших представителей БНК – блочный корпус, используемый при проектировании несущих систем портативных РЭС различного назначения на предприятии, где работает автор. Практикуются два варианта использования этого корпуса. Если размеры корпуса удовлетворяют проектировщиков конкретного РЭС, то корпус используется как базовое изделие. В этом случае все детали или основная часть деталей, из которых состоит корпус, включается в состав несущей системы проектируемого РЭС. Если полезный объем корпуса меньше или много больше необходимого для размещения проектируемого РЭС, то конструкция этого корпуса используется как

базовая. В этом случае чертежи большей части деталей корпуса выполняются заново с изменениями, вызванными необходимостью изменить размеры корпуса.



← Рис. 8

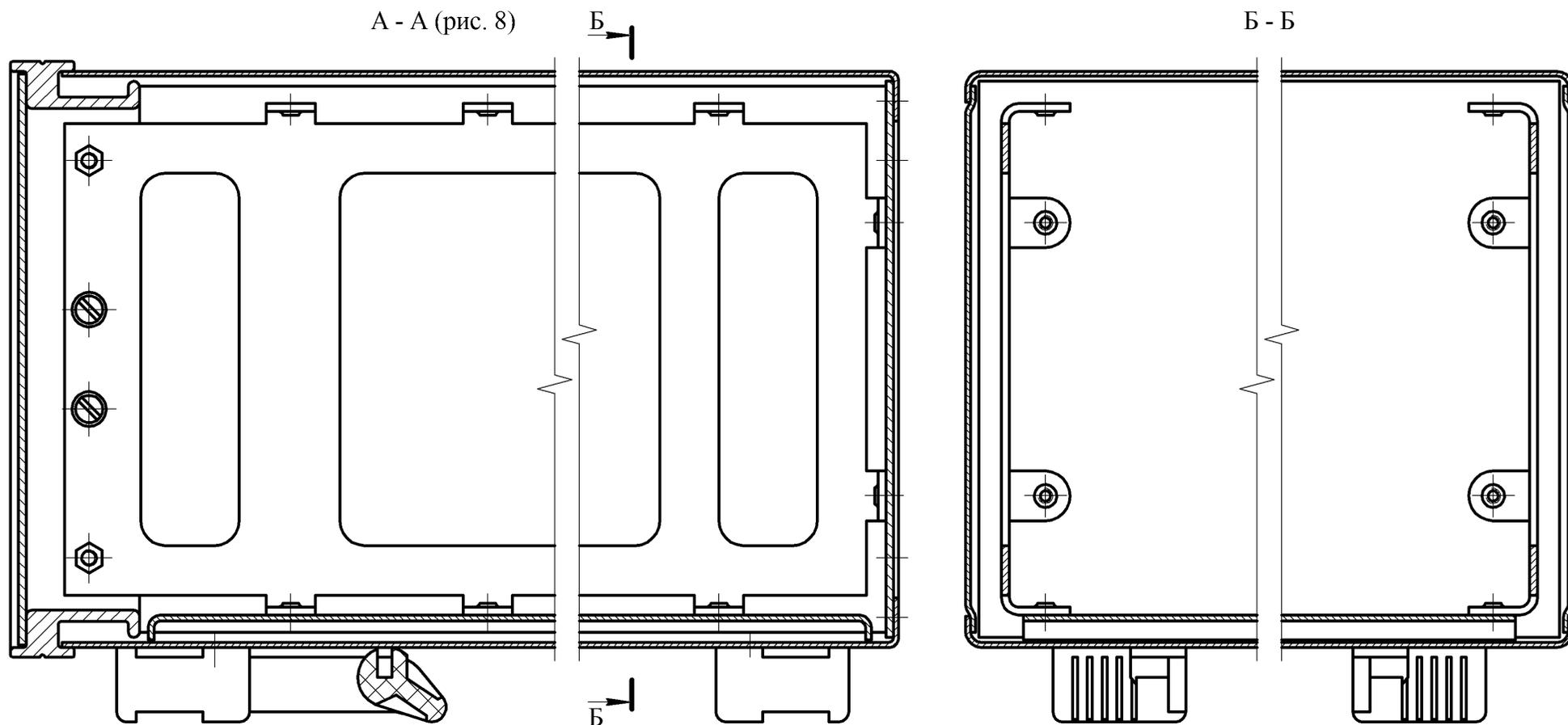


Рис. 9

Наиболее известные системы БНК представляют собой созданные **групповым проектированием** типоразмерные ряды базовых несущих изделий, предназначенных для проектирования несущих систем РЭС. Такие БНК обеспечивают возможность создания сложных РЭС **методом модульного проектирования**. Возможно, что это распространенное на практике одновременное использование при создании РЭС как базового, так и модульного проектирования и послужило причиной отождествления этих методов в публикациях по конструированию РЭС.

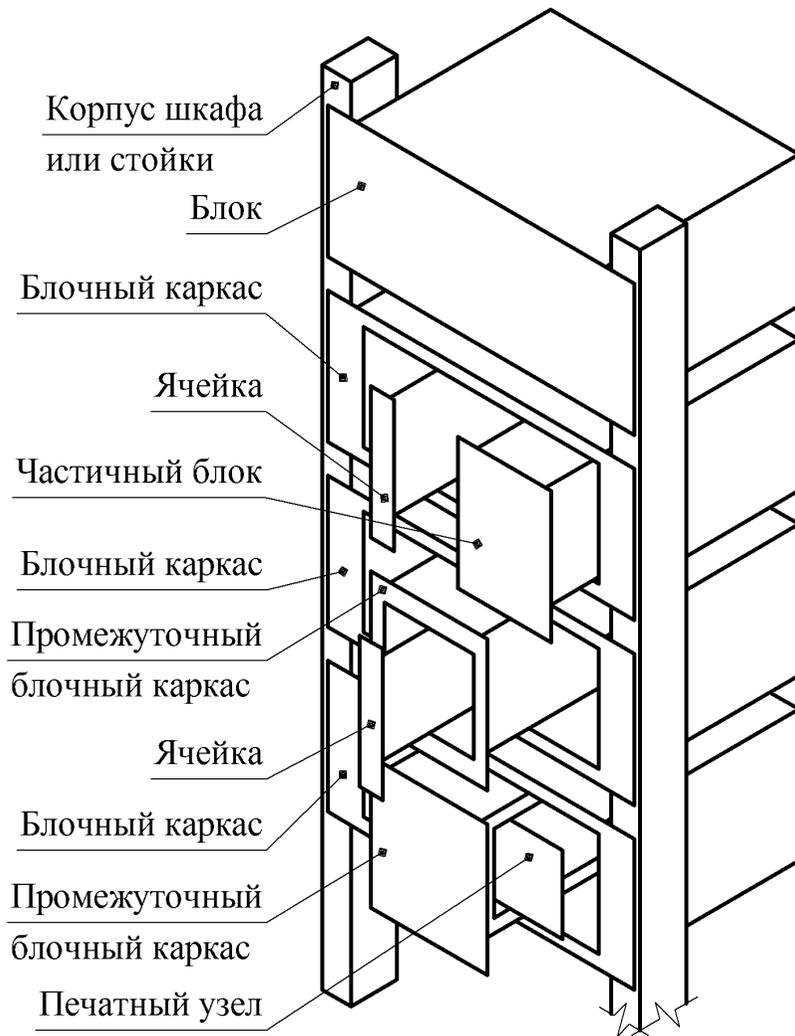


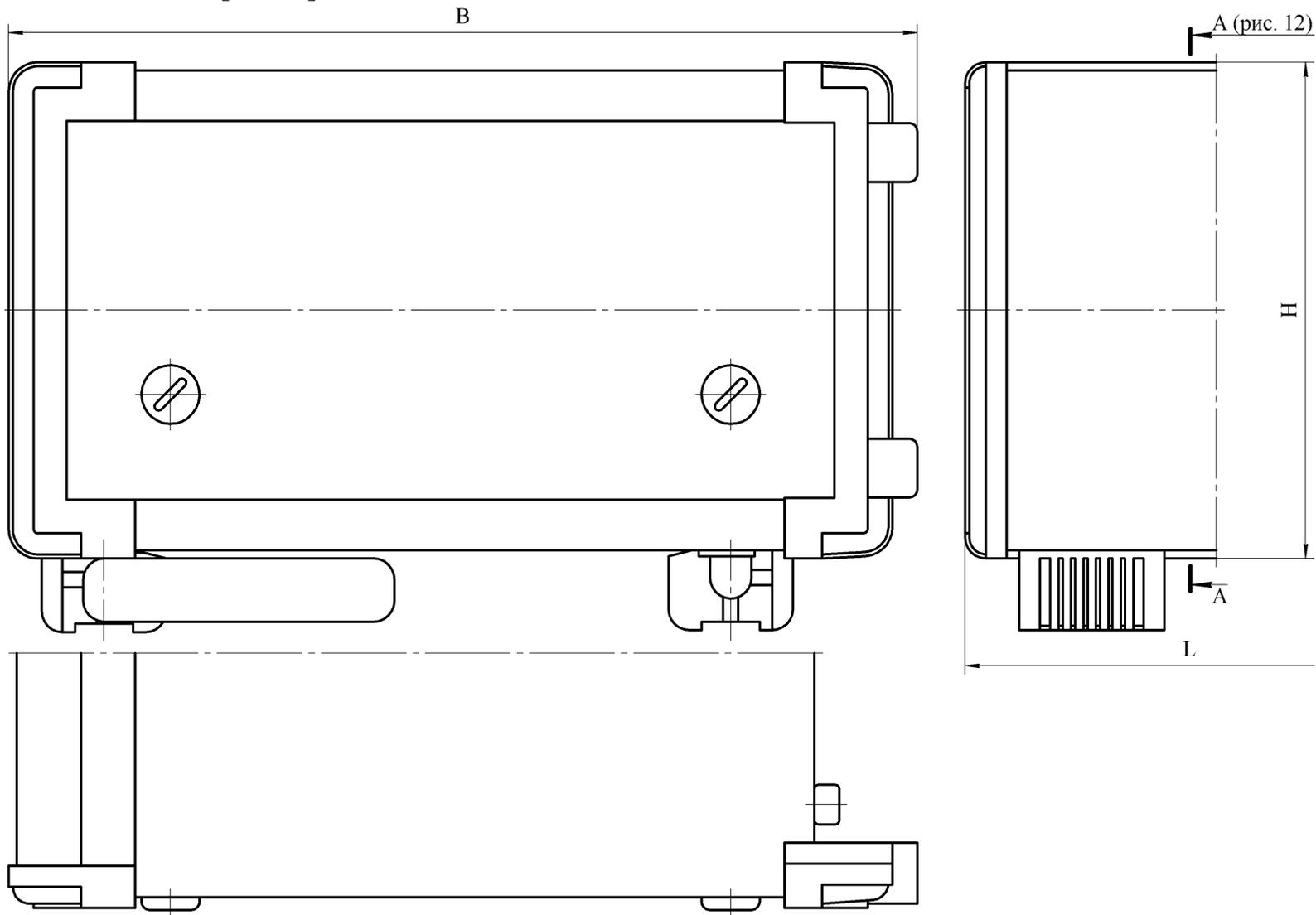
Рис. 10

Типовая компоновочная схема модульных РЭС приведена на рис. 10. По этой схеме построены многие виды РЭС, предназначенных для передачи и обработки информации (аппаратуры связи, электронные вычислительные машины и т. д.). Описания БНК для них приведены в [1 – 3].

Блочный корпус, изображенный на рис. 11 и 12, – представитель БНК, предназначенных для использования в несущих системах универсальных электронных средств измерений (ЭСИ) [22], несколько отличающихся от БНК описанных в [1 – 3]. БНК для ЭСИ спроектированы с учетом того, что большая часть универсальных ЭСИ используется в виде настольных (переносных или стационарных) блоков и лишь относительно небольшая часть монтируется в шкафах или стойках. Размер полногабаритного блочного корпуса по ширине  $L=480 \text{ мм} = M$ , размеры частичных блочных корпусов по ширине образуют ряд  $L=M/4, L=3M/8, L=M/2, L=5M/8, L=3M/4$ . Соединяя блоки в частичных корпусах по ширине можно получить полногабаритный блок. Типоразмерный ряд блочных корпусов позволяет создавать несущие системы для блоков ЭСИ объемом от 2 до 70 дм<sup>3</sup>.

Для того, чтобы при необходимости можно было устанавливать блоки ЭСИ в стойки или шкафы, предусмотрена возможность преобразования настольных полногабаритных блоков во вставные стоечные блоки установкой дополнительных крепежных деталей (фланцев, направляющих и т. д.). Если исключить некоторые легкоъемные детали и узлы на внешней поверхности блоков (ножки, крепежные фланцы и т. д.), настольные и вставные стоечные блоки ЭСИ, смонтированные в блочных корпусах по рис. 11 и 12, можно считать взаимозаменяемыми. Несмотря на то, что детали оболочки, необходимые только для настольного варианта и лишние в закрытых стойках и шкафах, увеличивают массу стоечного варианта и

затрудняют теплообмен, такая взаимозаменяемость удобна для производства ЭСИ, большая часть которых выпускается в настольном виде [22, 23].



← Рис. 11

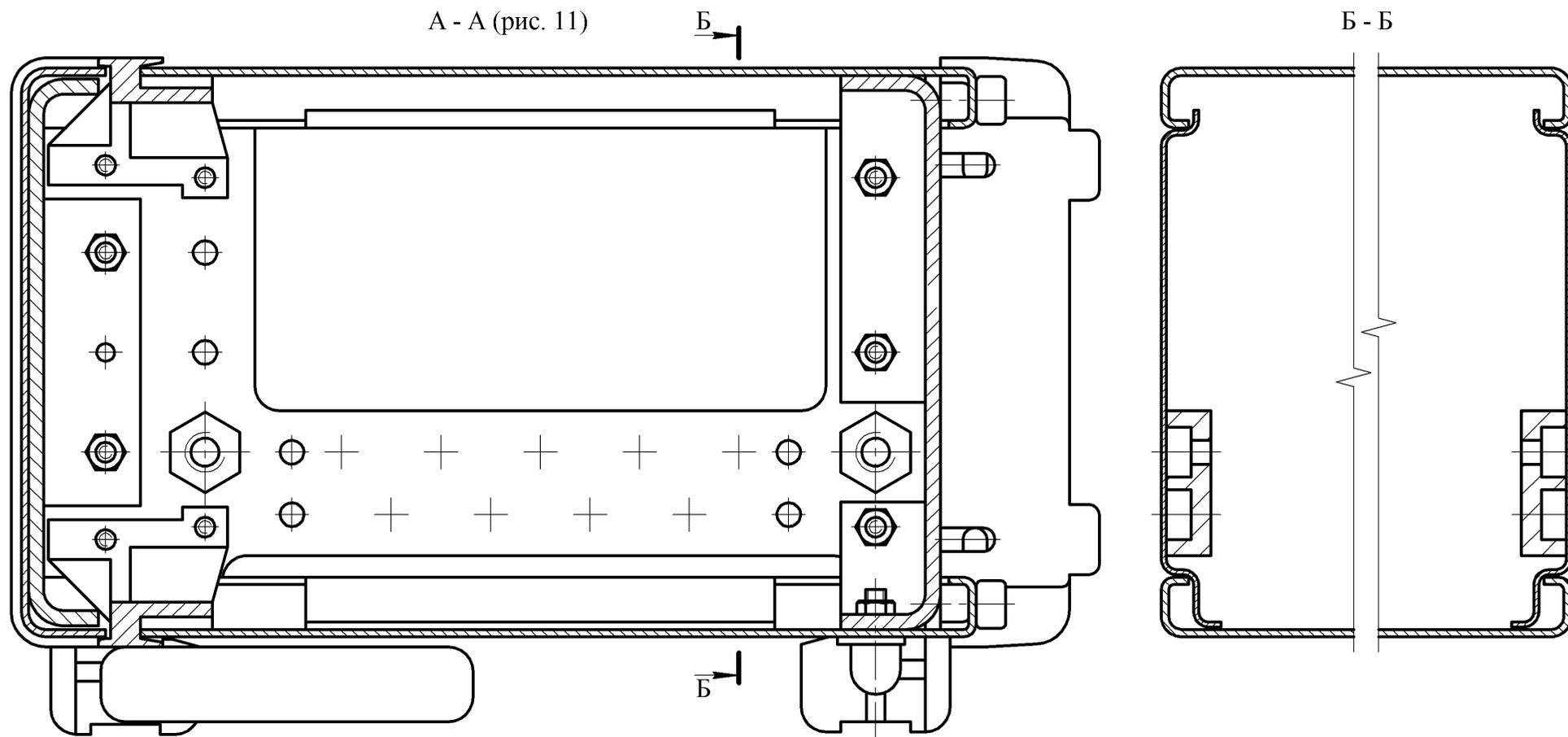


Рис. 12

Технические характеристики БНК во многом определяют технические характеристики РЭС и, поэтому БНК давно являются объектом государственной и международной стандартизации. Основная задача стандартизации БНК – обеспечить конструктивную совместимость РЭС [23, 24].

Литература

1. Базовый принцип конструирования РЭА / Е. М. Парфенов, В. Ф. Афанасьев, В. И. Владимиров, Е. М. Саушкин, Под ред. Е. М. Парфенова. М.: Радио и связь, 1981. 120 с.
2. Компоновка и конструкции микроэлектронной аппаратуры / П. И. Овсищер, И. И. Лившиц, А. К. Орчинский и др. Под ред. Б. Ф. Высоцкого, В. Б. Пестрякова, О. А. Пятлина. М.: Радио и связь, 1982. 208 с.
3. Несущие конструкции радиоэлектронной аппаратуры / П. И. Овсищер, Ю. В. Голованов, В. П. Ковешников и др. Под ред. П. И. Овсищера. М.: Радио и связь, 1988. 232 с.
4. Амиров Ю. Д. Научно-техническая подготовка производства. М.: Экономика, 1989. 230 с.
5. Васильев А. Л. Модульный принцип формирования техники. М.: Изд-во стандартов, 1989. 240 с.
6. Лутченков Л. С. Оптимальное проектирование несущих конструкций как сложных систем. Л.: Машиностроение. Ленинградское отд., 1990. 112 с.
7. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход / Пер. с польск. М.: Мир, 1981. 456 с.
8. Бобков Н. М. Язык стандартов должен быть точным. На примере конструирования несущих систем РЭС // Стандарты и качество. 1999. № 2.
9. Кононенко В. Г., Кушнаренок С. Г., Прялин М. А. Оценка технологичности и унификации машин. М.: Машиностроение, 1986. 160 с.
10. ГОСТ 23945.0 – 80. Унификация изделий. Основные положения.
11. ГОСТ 14.004 – 83. Единая система технологической подготовки производства. Термины и определения основных понятий.
12. Сиверцев И. Н. Расчет и проектирование судовых конструкций (суда металлические). М.: Машиностроение, 1968. 340 с.
13. \* ГОСТ 23945.1 – 80. Унификация изделий. Основные требования к разработке (выбору) базового изделия.
14. Терминология Единой системы конструкторской документации: Справочник. М.: Изд-во стандартов, 1990. 96 с.
15. Орлов П. И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1 / Под ред. П. Н. Учаева. М.; Машиностроение, 1988.
16. ОСТ4.425.000 – 81. Конструкции базовые несущие «Надел-75». Ручки управления электронных измерительных приборов. Конструкция и размеры.
17. \* ОСТ4 Г0.410.206. Аппаратура радиоэлектронная. Несущие конструкции. Термины и определения.
18. ГОСТ 26632 – 85. Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств по функционально-конструктивной сложности. Термины и определения.
19. ГОСТ 20504 – 81. Система унифицированных типовых конструкций агрегатных комплексов ГСП. Типы и основные размеры.
20. Элементы приборных устройств (Основной курс): Учеб. пособие для студентов вузов. В 2-х ч. Ч. 1. Детали, соединения и передачи / О. Ф. Тищенко, Л. Т. Киселев, А. П. Коваленко и др. Под ред. О. Ф. Тищенко. М.: Высш. школа, 1982. 304 с.
21. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования / Под ред. Р. Г. Варламова. М.: Сов. радио, 1980. 480 с.

22. Кварц: Радиоизмерения и электроника: Научно-технический и рекламно-коммерческий журнал Нижегородского НИПИ «Кварц». Н. Новгород, 1993. Вып. № 2, 1994. Вып. № 3.
23. Бобков Н. М. Вопросы проектирования БНК электронных средств измерений // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 1998. № 1.
24. Бобков Н. М. Проблемы стандартизации размеров модулей радиоэлектронных средств // Стандарты и качество. 2000. № 10.

Бобков Н. М.

## АГРЕГАТНОЕ И МОДУЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Справочник. Инженерный журнал. 2009. № 5

Проанализированы существующие и предложены новые термины и определения понятий проектирование технических систем. На основе новых определений сформулированы принципы агрегатного и модульного проектирования.

Наукой о конструировании технических систем (*t*-систем) до сих пор не создано единой и непротиворечивой терминологии [1]. Не имеют более или менее фиксированного содержания и понятия, выражаемые терминами «агрегат» и «модуль», «агрегатное проектирование» и «модульное проектирование». Часто между ними не делается различия, применяются даже термины «агрегатно-модульное проектирование» или «модульно-агрегатное проектирование». В публикациях по конструированию радиоэлектронных средств (РЭС) модульное и агрегатное проектирование связывают и даже отождествляют с проектированием на основе базовых конструкций [2]. Цель этой статьи – рассмотреть понятия, относящиеся к агрегатному и модульному проектированию *t*-систем, предложить определения для них и проиллюстрировать последние примерами.

### Существующие определения

По ГОСТ 23887 – 79 «Сборка. Термины и определения» агрегат – сборочная единица, обладающая полной взаимозаменяемостью, возможностью сборки отдельно от других составных частей изделия или изделия в целом и способностью выполнять определенную функцию в изделии или самостоятельно.

В словаре [3] для слова «агрегат» даны два определения: *укрупненный унифицированный элемент машины* (например, электродвигатель, насос) обладающий полной взаимозаменяемостью и выполняющий определенные функции в технологическом процессе; *механическое соединение нескольких машин*, работающих в комплексе (например, пахотный агрегат состоит из трактора, плугов, борон). Первое из этих определений эквивалентно данному в ГОСТ 23887 – 79, т.е. агрегат – это сложная и относительно самостоятельная составная часть (двигатель, редуктор, коробка скоростей и т. д.) еще более сложного изделия.

Сравним эти определения со следующими:

модуль-изделие – конструктивно и технологически законченная типовая или стандартная сборочная единица, общая для нескольких более сложных систем, имеющая автономную документацию на изготовление, полностью собранная, прошедшая функциональную проверку и готовая к монтажу [4];

под функциональным модулем рассматриваемого уровня иерархии понимается конструктивно, функционально и технологически законченная часть, рассматриваемая без дальнейшего деления, отвечающая требованиям конструктивной и функциональной совместимости, габариты и присоединительные размеры которой соответствуют заданным граничным условиям.

Функциональные модули выполняют свои функции самостоятельно в составе изделия (например, тележка вагона, элементы автосцепного устройства и тормозной системы, кронштейн тяговый, кронштейн сигнального фонаря, ручки и подножки сцепщика и т. д.). Модули высших уровней иерархии могут включать в себя модули более низких уровней. Например, в тележку вагона входят надрессорная балка, боковина, колесные пары, пружины, гасители колебаний [5].

Понять, в чем состоит различие между агрегатом и модулем по приведенным определениям невозможно. Эти слова практически являются синонимами.

Двум значениям слова «агрегат» по словарю [3] на первый взгляд соответствуют два значения слова «агрегатирование» по этому же словарю: метод конструирования изделий на основе применения унифицированных и стандартных составных частей путем изменения характера их соединений и пространственного сочетания применительно к заданным условиям; составление агрегатов из нескольких машин для их комплексного использования.

Из рекомендаций по стандартизации Р50–605–80 – 93 «Система разработки и постановки продукции на производство. Термины и определения» следует, что агрегатирование – метод конструирования машин и оборудование из стандартных и унифицированных деталей и узлов. Это определение эквивалентно первому [3]. Но в обоих этих определениях единственными признаками узлов и деталей, участвующих в агрегатировании являются их стандартизация и унификация. О сложности и других признаках не упоминается. Получается, что, например, зажим (рис. 13) по ГОСТ 21130 – 75

«Изделия электротехнические. Зажимы заземляющие и знаки заземления. Конструкция и размеры» сконструирован методом агрегатирования. Однако это противоречит как определению «агрегат», так и обыденным представлениям об агрегатах как крупных и сложных частях машин.

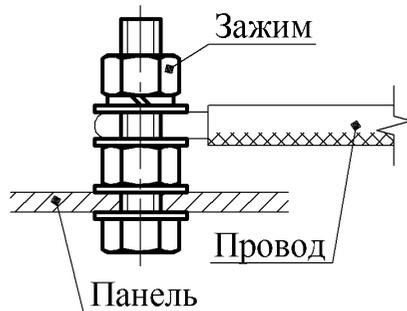


Рис. 13. Зажим заземления по ГОСТ 21130 из стандартных крепежных деталей

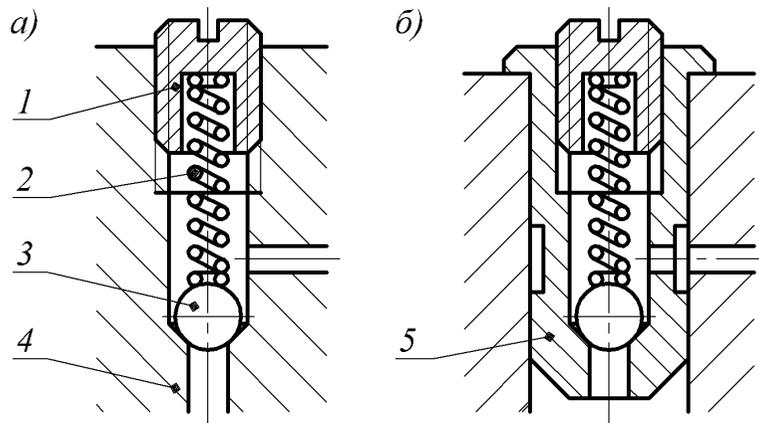


Рис. 14. Редукционный клапан до агрегатирования (а) и после агрегатирования (б)

Определение из книги [6] «агрегатирование заключается в создании машин путем сочетания унифицированных агрегатов, представляющих собой автономные узлы, устанавливаемые в различном числе и комбинациях на общей станине» и некоторые примеры (агрегатные металлорежущие станки и их агрегаты: механизмы синхронизации, станины, поворотные столы, коробки скоростей и др.) соответствует привычным представлениям об агрегатах. Но там же есть примеры агрегатирования мелких узлов, таких как редукционный клапан. На рис. 14, а изображен клапан исходной конструкции, детали 1 – 3 которого установлены непосредственно в корпусе 4 некоторой машины. На рис. 14, б изображен такой же клапан после агрегатирования – и его детали помещены во втулке 5. Последний пример агрегатирования не соответствует ни одному из приведенных выше

определений, во-первых, потому что составные части не представляют собой агрегаты – сложные сборочные единицы машин, во-вторых, эти части, скорее всего, не являются стандартными или унифицированными.

Пример с клапаном больше соответствует еще одному определению агрегатирования – это объединение взаимосвязанных составных частей изделия в более крупную составную часть – агрегат для применения как неделимое целое [7].

В работе [8] и некоторых других агрегатирование определяется как метод стандартизации, заключающийся в создании объектов частного функционального назначения на основе размерной или функциональной взаимозаменяемости их составных частей.

По определению из методики [9] агрегатирование, например, станочных приспособлений - метод проектирования, сборки и эксплуатации, основанный на рациональном членении приспособлений на агрегаты, каждый из которых представляет собой законченное изделие и может многократно использоваться при создании различных модификаций, т. е. метод создания приспособлений на базе серийного и массового производства и применения стандартных и унифицированных функциональных узлов.

При таком разнообразии определений сложно формулировать положениям теоретических работ и объяснять студентам принципы и методы агрегатного и модульного проектирования. Очевидна необходимость упорядочения терминологии.

## Принцип агрегатного проектирования

Анализ различных публикаций по конструированию показывает, что в них термин «агрегатирование» чаще всего используется для выражения трех понятий:

- объединение некоторых составных частей исходной  $t$ -системы в более крупную ее составную часть;
- объединение самой  $t$ -системы с другими для совместного использования;
- создание ряда взаимно унифицированных  $t$ -систем из некоторой совокупности относительно крупных составных частей – агрегатов.

Чтобы исключить недопустимую для научно-технической терминологии многозначность термина «агрегатирование», необходимо для трех разных понятий подобрать разные термины. Для первых двух в работе [10] использованы термины «внутреннее агрегатирование» и «внешнее агрегатирование». Если в них заменить слово «агрегатирование» на «агрегирование», как предложено в статье [11], для обозначения этих понятий получатся удобные четко различаемые термины «внутреннее агрегирование» и «внешнее агрегирование». Эти два понятия, а также «агрегат» целесообразно, по моему мнению, рассматривать как относительные применительно к некоторой конкретной  $t$ -системе  $A$  (рис. 15).

*Агрегат  $t$ -системы  $A$*  – сборочная единица, обладающая полной взаимозаменяемостью и входящая в  $t$ -систему  $A$  непосредственно, т. е. находящаяся на первом уровне ее деления на составные части. На рис. 15, *a* ими являются составные части  $A_1$  и  $A_5$ . Остальные находящиеся на первом уровне деления части этой  $t$ -системы – детали. Агрегаты  $t$ -системы  $A$  на рис. 15, *б* – составные части  $A_1, A_{3-6}$ . Часть  $A_5$  на рис. 3, *б* не является агрегатом  $t$ -системы  $A$ , но является агрегатом  $t$ -системы  $A_{3-6}$ . Возможно, что в теоретических работах следует относить к агрегатам и детали  $t$ -системы, непосредственно входящие в нее, но целесообразность этого требует дополнительного исследования.

*Внутреннее агрегирование* – объединение при проектировании  $t$ -системы  $A$  ее взаимосвязанных составных частей в более крупную составную часть для применения в качестве агрегата в составе  $t$ -системы  $A$ . В результате внутреннего агрегирования составные части  $A_3 – A_6$  исходной  $t$ -системы  $A$  (рис. 15, *a*) объединены в агрегат  $A_{3-6}$  (рис. 15, *б*). Часто при агрегировании возникает необходимость в дополнительных составных частях (на схеме  $A_{10}$  и  $A_{11}$ ). К ним относится, например, корпус 5 на рис. 14, *б*.

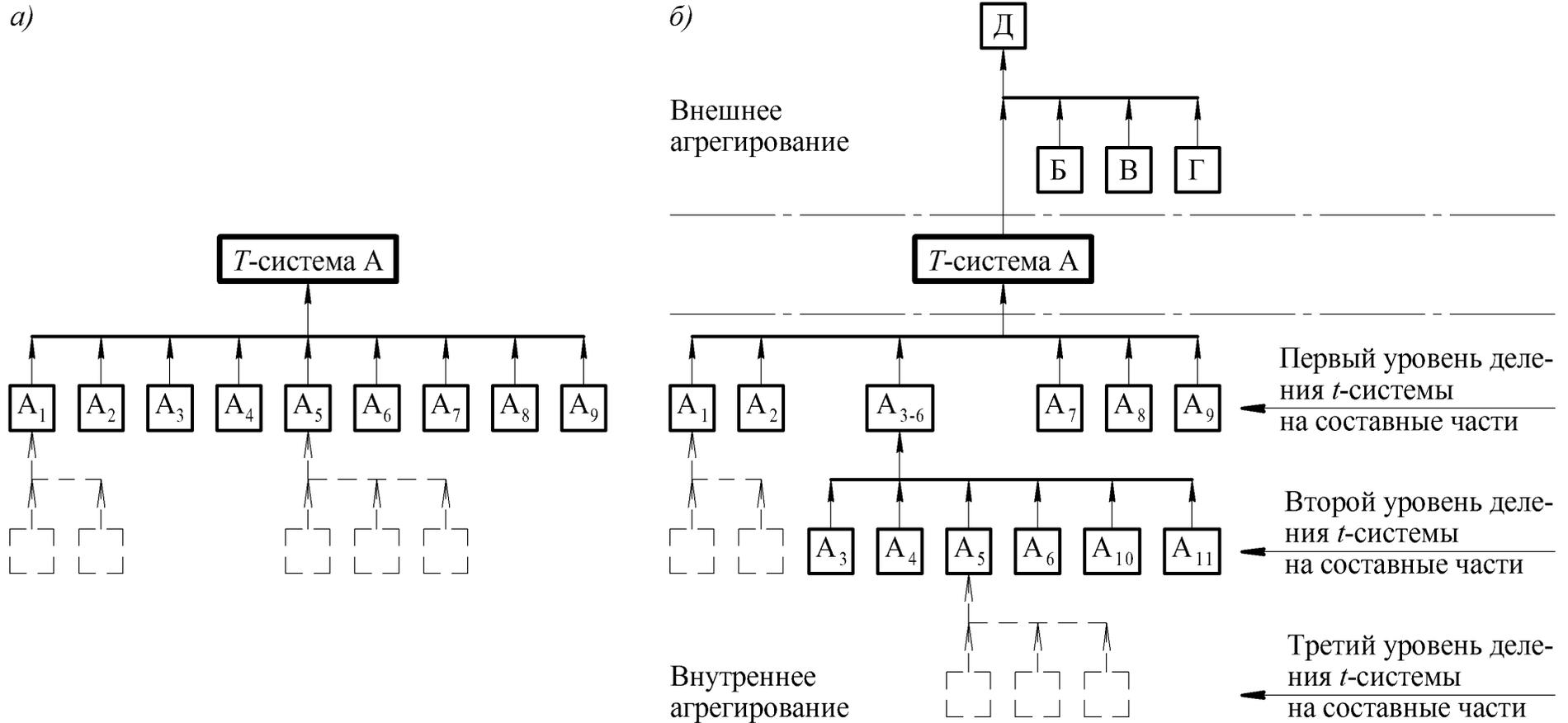


Рис. 15. Внутреннее и внешнее (по отношению к  $t$ -системе А) агрегирование

Внутреннее агрегирование представляет собой один из приемов конструирования и выполняется конструктором  $t$ -системы А. Исходная для внутреннего агрегирования  $t$ -система (рис. 15, а) не изготавливается серийно, а существует лишь в воображении конструктора, на чертежах или в лучшем случае, как экспериментальный образец. Цель внутреннего агрегирования – рациональное для разработки, производства, эксплуатации и ремонта разбиение  $t$ -системы на составные части. Такой подход может усложнить конструкцию  $t$ -системы в целом, но при удачном выполнении дает возможность параллельно проектировать отдельные агрегаты машин с помощью специализированных групп конструкторов, облегчает

использование в новых  $t$ -системах отработанных и проверенных в эксплуатации агрегатов, позволяет организовать специализированное производство, осуществить параллельную и независимую сборку агрегатов, ускоряет доводку опытных образцов, упрощает восстановление вышедшей из строя  $t$ -системы, позволяя комплектно заменять износившиеся агрегаты новыми.

*Внешнее агрегирование* – объединение  $t$ -системы А с другими  $t$ -системами Б, В, Г в  $t$ -систему Д более высокого уровня (рис. 15, б). По этому определению агрегатами последней являются  $t$ -системы А, Б, В, Г в отличие от второго определения из словаря [3], по которому агрегат – сама  $t$ -система Д. Внешнее агрегирование связано с изменчивостью условий эксплуатации  $t$ -системы, при которых возникает потребность ее переналадки на новые технологические процессы или режимы работы. Примеры внешнего агрегирования: автомобиль с прицепом или полуприцепом ( $t$ -система А – автомобиль), сельскохозяйственный трактор с культиватором или промышленный трактор с отвалом бульдозера ( $t$ -система А – трактор) [10].

Если внутреннее агрегирование выполняется конструктором  $t$ -системы А, то внешнее агрегирование осуществляется потребителем этой  $t$ -системы. В качестве потребителя может рассматриваться эксплуатационник  $t$ -системы А или разработчик  $t$ -системы Д, в состав которой должна войти первая. Но и внешнее для  $t$ -система А агрегирование может быть выполнено только в том случае, если при ее конструировании была предусмотрена возможность такого агрегирования.

Ни внутреннее, ни внешнее агрегирование сами по себе не являются методами унификации или стандартизации, но хорошо продуманное внутреннее агрегирование и предусмотренная в конструкции возможность внешнего агрегирования – предпосылка для унификации и стандартизации агрегатов и основа для агрегатного проектирования (конструирования).

Термин «агрегатирование» в третьем значении в работах по конструированию  $t$ -систем целесообразно заменить термином «агрегатное проектирование». Оно заключается в комплексном подходе к проектированию  $t$ -системы, при котором она рассматривается как представитель некоторого семейства разнообразных  $t$ -систем, взаимно унифицированных по основным составным частям – агрегатам, и компоуется путем изменения количества, сочетания и взаимного расположения агрегатов.  $T$ -системы, входящие в семейство, и составляющие их агрегаты могут быть освоены в производстве, находиться в разработке, или только планироваться к разработке.

Применение принципа агрегатного проектирования дает возможность быстро разрабатывать новые, модернизировать и модифицировать существующие  $t$ -системы путем применения отработанных в изготовлении и эксплуатации, а значит и надежных, унифицированных агрегатов. Если нет возможности проектировать новую  $t$ -систему только из таких агрегатов (применить принцип агрегатного проектирования в чистом виде), можно использовать и унифицированные агрегаты, и

оригинальные, созданные специально для этой  $t$ -системы составные части. Принцип агрегатного проектирования подробно рассмотрен в книге [12].

### **Принцип модульного проектирования**

Отождествление понятий «модульное проектирование» и «агрегатное проектирование» недопустимо. Первое целесообразно рассматривать как важный частный случай агрегатного проектирования. Модульные  $T$ -системы выделяются из немодульных упорядоченностью и согласованностью геометрической формы и размеров агрегатов, их геометрической и размерной совместимостью и взаимозаменяемостью, причем агрегатов не обязательно совместимых и взаимозаменяемых функционально.

*Модульное проектирование* заключается в таком применении принципа агрегатного проектирования, при котором агрегаты унифицируют по геометрическим параметрам (форме и размерам) так, чтобы обеспечить максимальное заполнение компоновочного пространства  $t$ -системы.

Различие между моноблочным, агрегатным и модульным проектированием рассмотрим на примере трех исполнений одной  $t$ -системы – ввода электропитания в переносные РЭС. Преимущества моноблочного исполнения (рис. 16) – компактность, минимальное количество деталей и связей между ними и, соответственно, минимальная трудоемкость монтажа блока в РЭС. Его недостаток заключается в невозможности перестройки на другие схемы и конструкции подводки электропитания.

Вариант на рис. 17, *а* отличается гибкостью к изменениям. Варьируя типам и количеством составных частей, можно конструировать вводы электропитания на различные номинальные ток напряжений, классы защиты от поражения электрическим током, способы подсоединения шнура питания и другие характеристиками. Недостаток – большие габариты и большая трудоемкость монтажа в РЭС.

Модульная конструкция  $t$ -системы на рис. 17, *б* имеет такую же гибкость к изменениям, как предыдущая, при этом более компактна и технологична при монтаже, но уступает по технологичности в массовом производстве и компактности в моноблочном исполнении.

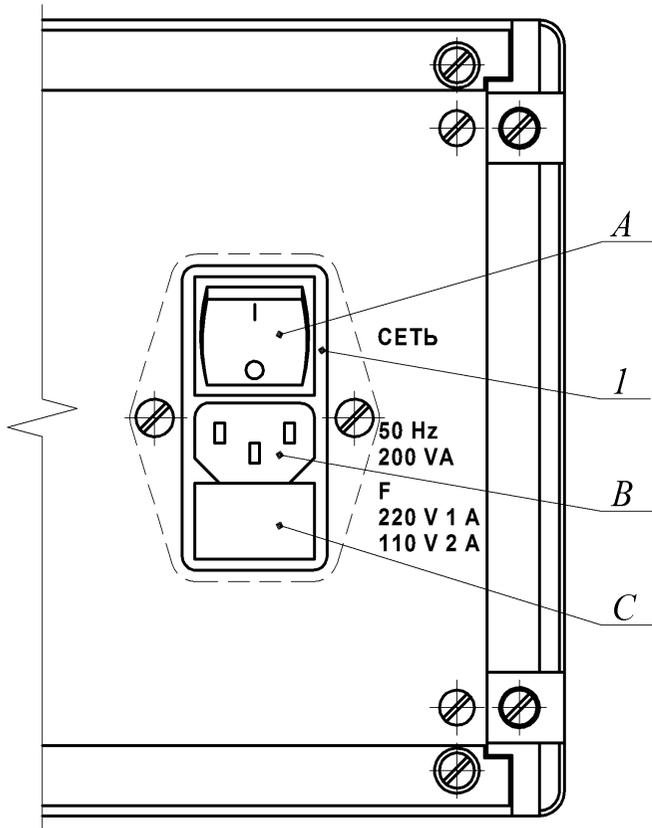


Рис. 16. Моноблочная конструкция ввода электропитания в РЭС:

*I* – блок ввода электропитания, состоящий из выключателя *A*, вилки *B* для подключения шнура электропитания, переключателя сетевого напряжения и держателя плавких вставок *C*

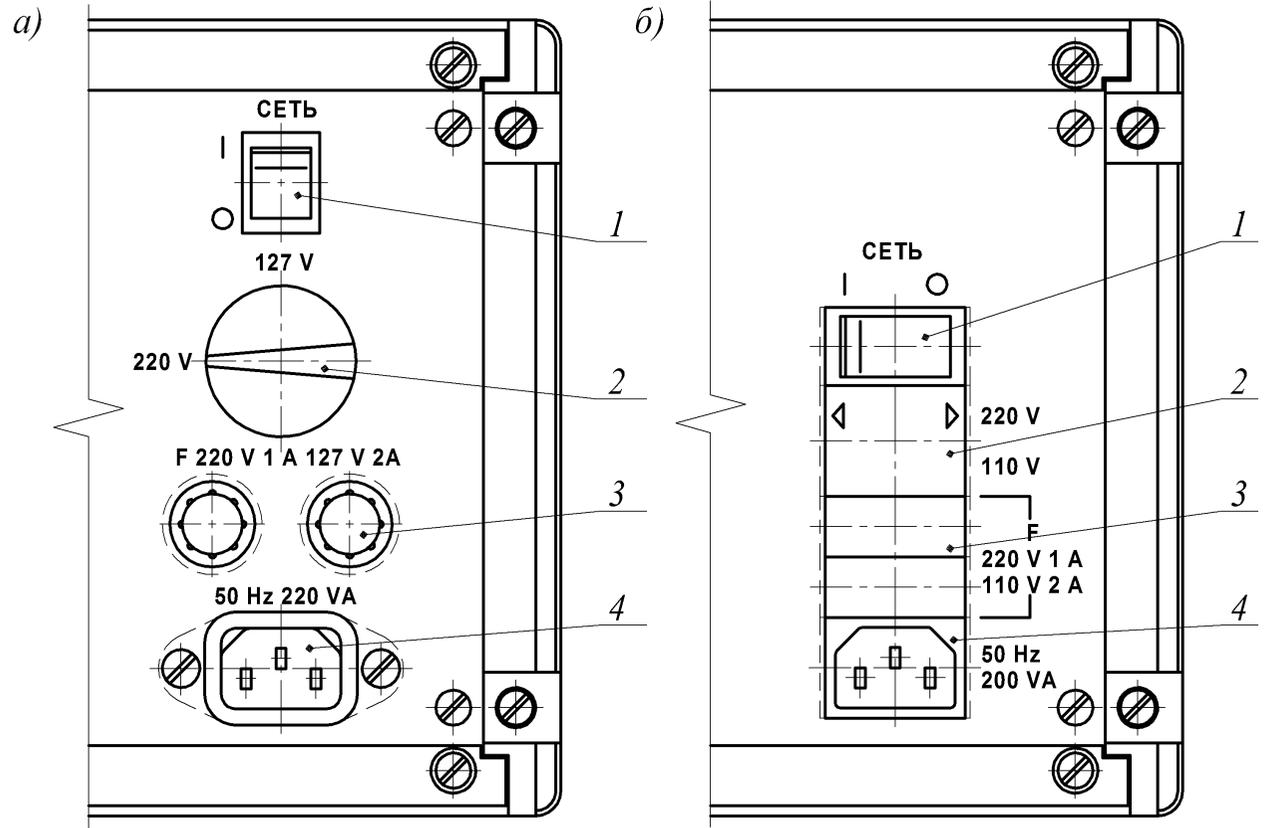


Рис. 17. Агрегатная (*a*) и модульная (*б*) конструкция ввода электропитания в РЭС:

*I* – выключатель электропитания; *2* – переключатель напряжения электропитания; *3* – держатель плавкой вставки; *4* – вилка для подключения шнура электропитания

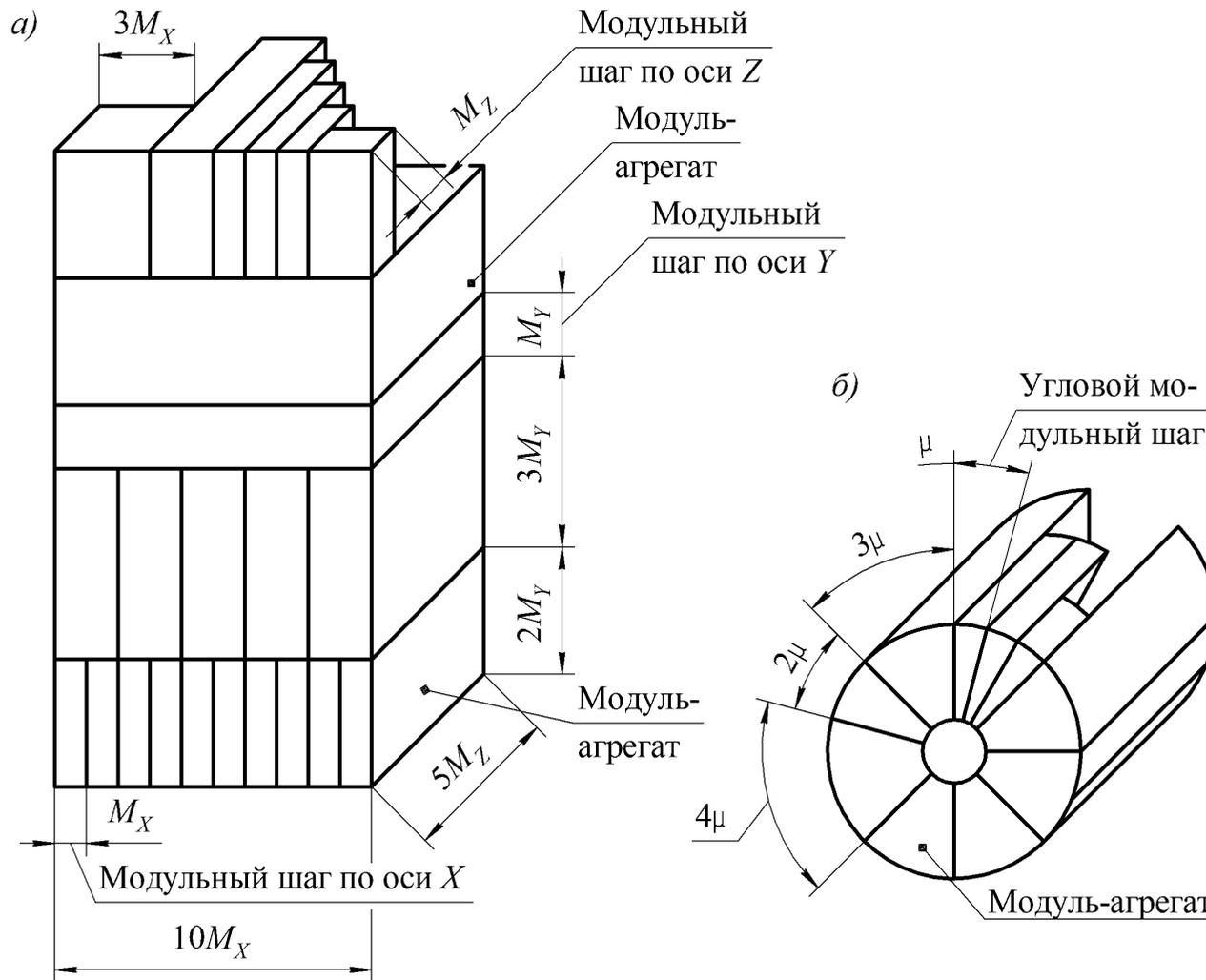


Рис. 18. Примеры членения компоновочного пространства при модульном проектировании

В идеальной модульной системе обеспечивается геометрическая и размерная взаимозаменяемость модулей независимо от их функциональной взаимозаменяемости. Достигается это, во-первых, членением компоновочного пространства  $t$ -системы на одинаковые или закономерно отличающиеся части (рис. 18); во-вторых, выбором формы и размеров агрегатов, обеспечивающих максимальное заполнение этих частей; в-третьих, унификацией присоединительных размеров, обеспечивающей возможность перестановки модулей в компоновочном пространстве хотя бы и без сохранения работоспособности  $t$ -системы.

*Модуль-агрегат (модуль)* – агрегат  $t$ -системы, геометрическая форма и размеры которого соответствуют всем трем условиям. Размеры модулей, обеспечивающие их совместимость, обычно выбираются кратными модульному шагу (или просто шагу).

*Примечание.* В работе [4] применяется термин «проектный модуль». Но его краткая форма «модуль» совпадает с краткими формами терминов «модуль-агрегат», «модуль-изделие», «модуль-элемент», что может быть причиной недоразумений.

Основные преимущества модульного построения  $t$ -систем: сокращение времени на ее компоновку при разработке, снижение затрат на модифицирование и модернизацию  $t$ -системы; сокращение времени простоя оборудования при ремонте заменой модулей. Из-за того, что в модульной системе стандартизовано сравнительно небольшое количество типов модулей, объем их выпуска существенно возрастает и можно эффективно контролировать качество при их производстве, что увеличивает надежность модульной системы.

Принцип модульного проектирования получил широкое распространение в радиоаппаратостроении [13]. Для этого есть объективные причины. Внешняя форма РЭС и их составных частей почти не связана с их функциональным назначением и принципом действия. Это позволяет легко формировать модули любой удобной для компоновки РЭС формы. Существуют отечественные и международные стандарты на размеры модулей для некоторых видов РЭС. Есть стандарты и на терминологию, относящуюся к модульному проектированию РЭС. К сожалению, в ГОСТ Р 52003 – 2002 «Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств. Термины и определения», устанавливающем терминологию в этой области, допущены логические ошибки. Например, ошибка, которую в логике называют порочным кругом [14] – в определяющем выражении к понятию «модульное исполнение РЭС» дано понятие «электронный модуль», и наоборот:

модульное исполнение радиоэлектронного средства – метод создания радиоэлектронного средства на основе электронных модулей;

электронный модуль – конструктивно и функционально законченное радиоэлектронное устройство ... , выполненное в модульном ... исполнении ... .

Понять, что обозначают словосочетания «модульное исполнение» и «электронный модуль» из таких определений невозможно. Первое из двух определений бессмысленно само по себе. Модульное исполнение РЭС – это вид РЭС, т. е. изделие. По определению получается, что изделие есть метод! Есть и другие ошибки. Например, ГОСТ Р 52003 – 2002 дает определение понятия «электронный модуль», не предложив определения родового понятия «модуль». Модули РЭС не всегда представляют собой электронные изделия. Понятие «электронный модуль» следует определять через род и видовые отличия, используя понятие «модуль-агрегат» в качестве родового.

*Электронный модуль* – модуль-агрегат РЭС, в основу функционирования которого положены принципы радиотехники и электроники.

Обычно в определениях в качестве существенного признака понятия «модуль» называется его функциональная законченность. На практике возможны  $t$ -системы, в которых одна функциональная часть системы размещается в двух модулях или две функциональные части – в трех модулях. Так, в радиоаппаратостроении встречаются модули, не обладающие свойством функциональной законченности, которая относится к желательным, но совсем не обязательным свойствам модуля.

## Вывод

Предложенные в статье определения понятий, относящиеся к агрегатному и модульному проектированию, рассчитаны, в первую очередь, на студентов. Сравнение понятий между собой, анализ их сходства и различия делает материал более доступным усвоения. Выбор примеров из радиоаппаратостроения обусловлен тем, что принципы агрегатного и модульного проектирования в этой области техники могут быть проиллюстрированы наиболее наглядно, а путаница в терминологии конструирования РЭС налицо. Рассмотренная в статье проблема – следствие несовершенства терминологии конструирования, которая в целом нуждается в упорядочении по правилам, изложенным в работе [15].

## Библиографический список

1. **Бобков Н.М.** Основы конструирования. Проблемы терминологии // Вестник машиностроения. 2002, № 9.
2. **Бобков Н.М.** Принцип базового проектирования в радиоаппаратостроении // Справочник. Инженерный журнал. 2003, № 2.
3. **Политехнический словарь** / Под ред. А.Ю. Ишлинского. М.: Большая советская энциклопедия, 1989.
4. **Васильев А.Л.** Модульный принцип формирования техники. М.: Изд-во стандартов, 1989.
5. **Радзиковский А.А., Демский А.Б., Сарычев В.В.** Основы модульного конструирования в вагоностроении // Стандарты и качество. 1989, № 4.
6. **Орлов П.И.** Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1 / Под ред. П.Н. Учаева. М.; Машиностроение, 1988.
7. **Технологичность** конструкции изделия: Справочник / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков и др. / Под общ. ред. Ю.Д. Амирова. М.: Машиностроение, 1990.
8. **Аристов О.В., Шебанов В.И.** Основы стандартизации и контроль качества в радиоэлектронике: Учеб. пособие для ВИСМ. М.: Изд-во стандартов, 1975.
9. **Методика.** Унификация и стандартизация станочных приспособлений. Основные требования. М.: Изд-во стандартов, 1976.
10. **Амиров Ю.Д.** Основы конструирования: Творчество – стандартизация – экономика: Справочное пособие. М.: Изд-во стандартов, 1991.
11. **Крейтер С.В., Постыка В.М., Чернов Б.И., Яременко О.В.** К вопросу обоснования системы понятий в области унификации // Стандарты и качество. 1983, № 9.
12. **Гокун В.Б.** Технологические основы конструирования машин: Сущность, направления и методы осуществления. М.: Машгиз, 1963.
13. **Верхопятницкий П.Д., Латинский В.С.** Справочник по модульному конструированию радиоэлектронной аппаратуры. Л.: Судостроение, 1983.
14. **Кириллов В.И., Старченко А.А.** Логика: Учебник для вузов. М.: Юристъ, 2007.
15. **Краткое** методическое пособие по разработке и упорядочению научно-технической терминологии. М.: Наука, 1979.

Бобков Н. М.

**Базовые несущие конструкции аппаратуры  
Нижегородского приборостроительного  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБОЛОЧЕК ГЕРМЕТИЧНЫХ КОРПУСОВ**

Кварц: радиоизмерения и электроника: научно-технический и  
рекламно-коммерческий периодический журнал НИПИ «Кварц».  
1996. Вып. № 5

**К л а с с и ф и к а ц и я   о б о л о ч е к**

Оболочкой радиоэлектронного средства (РЭС) будем называть совокупность конструктивных элементов, окружающую внутренние части РЭС и отделяющую эти части от внешней среды. Обычно конструктивные элементы РЭС, составляющие оболочку, являются деталями или поверхностями деталей несущего изделия. Существует группа РЭС, защита которых от действия воды, пыли, плесневых грибов и некоторых других внешних воздействующих факторов достигается герметизацией оболочки. В эту группу входят РЭС, эксплуатирующиеся в воде, в полевых условиях, РЭС, устанавливаемые вне помещений на судах, и некоторые другие.

Герметизация может быть неразъемной или разъемной. При неразъемной герметизации соединение отдельных частей оболочки осуществляется с помощью пайки, склейки, сварки и т. д. При разъемной герметизации части оболочки соединяются с помощью резьбовых крепежных деталей, зажимов, замков и т. д. Стыки соединяемых частей оболочки обычно уплотняются с помощью резиновых, металлических и иных уплотнительных деталей.

При проектировании и испытаниях несущих изделий с герметичными оболочками удобно использовать классификацию, установленную для оболочек электротехнических изделий [7]. Эта классификация осуществляется по двум признакам: по степени защиты изделия от попадания в него посторонних твердых предметов и по степени защиты изделия от проникновения воды. Предусмотрено семь степеней защиты (от 0 до 6) от попадания в него твердых предметов и девять степеней защиты (от 0 до 8) от проникновения воды. Для обозначения степени защиты оболочки применяют буквы IP (International Protection) и следующие за ним две цифры. Первая цифра обозначает степень защиты от попадания твердых тел, вторая цифра – степень защиты от проникновения воды. Например, степень защиты IP20 означает, что оболочка обеспечивает защиту от попадания внутрь твердых тел диаметром более 12 мм, но не обеспечивает защиту от проникновения воды.

Герметичными обычно называют несущие изделия, оболочки которых обеспечивают степени защиты 5 и 6 от попадания твердых тел и степени защиты 5 – 8 от проникновения воды. Краткие характеристики степеней защиты оболочек герметичных корпусов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Краткие характеристики степеней защиты, обеспечиваемых оболочками

Степень защиты	Характеристика степени защиты	
	От попадания посторонних твердых предметов внутрь оболочки	От проникновения внутрь оболочки воды
5	Защита изделий от вредных отложений пыли	Защита от водяных струй, выбрасываемых на оболочку в любом направлении
6	Полная изделия защита от попадания пыли	Защита от волн воды, характерных для палубы корабля
7	–	Защита при погружении в воду
8	–	Защита при длительном погружении в воду

Проверка соответствия оболочки требованиям по защиты изделий от попадания пыли осуществляется путем проведения испытаний в устройстве, состоящем из закрытой камеры, в которой при помощи потока воздуха поддерживается во взвешенном состоянии порошок талька. Внутри оболочки степени защиты 5 порошок талька не должен накапливаться в таком количестве и в таком месте, чтобы повлиять на нормальную работу изделия. Внутри оболочек степени защиты 6 порошок талька не должен проникать совсем.

Проверка соответствия оболочки требованиям по защите от проникновения воды осуществляется проведением следующих испытаний. Оболочки 5-ой и 6-ой степеней защиты от проникновения воды обливают струей воды со всех сторон из шланга. Скорость подачи воды зависит от степени защиты: для степени защиты 5 – 12,5 л/мин., для степени защиты 6 – 100 л/мин. Продолжительность испытаний не менее 3 мин. Оболочки степени защиты 7 испытывают погружением в воду так, чтобы слой воды над верхней точкой оболочки был не менее 150 мм. Продолжительность испытаний не менее 30 мин. Методы испытаний оболочек степени защиты 8 согласовываются между изготовителем и потребителем в зависимости от характера изделия.

### Конструкции уплотнений

Чтобы обеспечить требуемую степень защиты, при проектировании корпуса РЭС необходимо принимать специальные меры, которые делали бы места разъема частей корпуса непроницаемыми для пыли и воды. Защита от вредных отложений пыли (степень 5) может быть обеспечена плотным прижатием хорошо обработанных сопрягаемых поверхностей разъемных частей оболочки или введением в места разъема лабиринта. Полная защита от попадания пыли (степень 6) достигается введением в места разъема частей оболочки уплотнительных деталей, например, из войлока или губчатой резины.

Защита от проникновения воды может быть обеспечена введением в места разъема резиновых уплотнительных деталей. Наиболее доступными являются резиновые уплотнительные прокладки прямоугольного сечения и резиновые уплотнительные кольца круглого сечения. В зависимости от конструкции соединяемых деталей уплотнительное кольцо в рабочем состоянии может быть сжато в осевом (рис. 19, *а*), радиальном (рис. 19, *б*) или угловом (рис. 19, *в*; 19, *г*) направлении. Прокладки прямоугольного сечения целесообразно применять лишь при осевом сжатии.

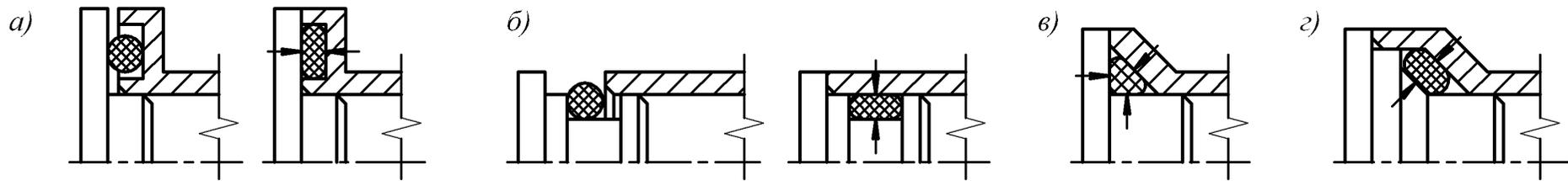


Рис. 19

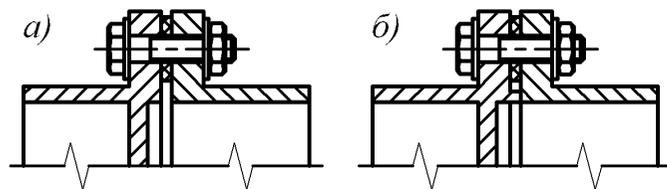


Рис. 20

Конструкции уплотнений с осевым сжатием уплотнительной детали приведены на рис. 20 и 21. Для прокладок прямоугольного сечения возможны два варианта конструкции с осевым сжатием: с открытым посадочным местом (рис. 20), в котором перемещение прокладки ничем не ограничено, и с закрытым посадочным местом (рис. 21), в котором перемещение прокладки ограничено стенками канавки. Для уплотнительных колец круглого сечения возможен только один вариант – закрытое посадочное место. Конструкция, изображенная на рис. 20, *а*, представляет собой уплотнение с неограниченным сжатием уплотнительной детали, в котором все усилие от затяжки болтов передается на

уплотнительную деталь. Конструкции, изображенные на рис. 20, б и рис. 21, – примеры уплотнений с ограниченным сжатием уплотнительной детали, в котором при достижении заданной степени сжатия, соединяемые детали смыкаются своими поверхностями и при дальнейшей затяжке болтов воспринимают все усилие затяжки.

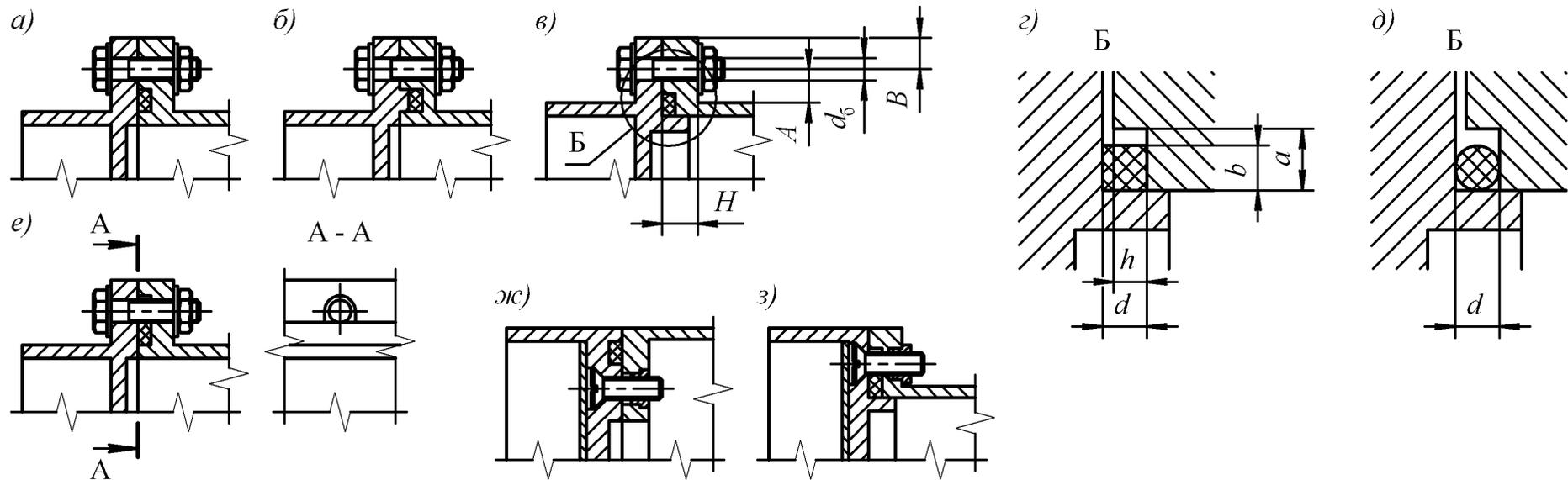


Рис. 21

При цилиндрической форме соединяемых деталей посадочные поверхности под уплотнительную деталь можно относительно дешево обработать на токарном станке. В этом случае водонепроницаемость при длительном погружении в воду может быть обеспечена при любом виде сжатия уплотнительных деталей, изображенных на рис. 20 и 21. Но цилиндрическая форма корпусов для РЭС вызывает большие сложности при размещении в нем узлов и деталей внутренней компоновки, а также при агрегатировании отдельных блоков в системы. Для РЭС предпочтительнее корпуса в форме прямоугольного параллелепипеда. Посадочные поверхности для уплотнительной детали в этом случае имеют форму близкую к прямоугольной и обработка их с высокой точностью затруднительна. Наиболее просто обрабатываются посадочные места в уплотнении, изображенном на рис. 20, а. Плоские стыки относительно легко и качественно можно получить фрезерованием и, при необходимости, шлифованием напроход. Другое достоинство этой конструкции – возможность изготовления

прокладки без применения специального инструмента вырезкой из листовой резины, что бывает удобно при ремонте. Однако отсутствие в конструкции ограничений на сжатие прокладки требует применения при сборке специальных технологических приемов, недопускающих чрезмерную затяжку, которая может выдавить прокладку из соединения. В конструкции, изображенной на рис. 20, б, предусмотрено ограничение на сжатие прокладки в виде выступа на фланце. Изготовить такой фланец несколько сложнее, чем плоский.

В конструкциях с открытыми посадочными местами следует применять широкие прокладки (рекомендуемые размеры: толщина – не менее 2 мм, ширина – от двух до пяти толщин), требующие больших усилий для сжатия. Чтобы обеспечить эти усилия, необходимы фланцы большой мощности и, следовательно, большой массы.

В конструкциях с закрытыми посадочными местами (рис. 21) могут применяться прямоугольные прокладки с шириной примерно равной толщине, а также уплотнительные кольца круглого сечения, требующие меньших усилий для сжатия, чем широкие прокладки в уплотнениях с открытыми посадочными местами.

Конструкция уплотнения, изображенная на рис. 21, а, из всех конструкций, изображенных на рис. 21, наиболее проста в изготовлении. Недостаток ее – плохая фиксация уплотнительной детали в разобранном соединении, так как высота канавки меньше высоты сечения прокладки или кольца. При сборке такого соединения необходимо соблюдать осторожность, что не повредить выпавшую из канавки уплотнительную деталь. От этого недостатка свободна более сложная в производстве конструкция, изображенная на рис. 21, б. При проектировании такого соединения необходимо учитывать, что на величину сжатия уплотнительной детали влияют отклонения размеров как глубины канавки, так и высоты выступа. В конструкциях, изображенных на рис. 21, а и 21, в, на величину сжатия уплотнительной детали влияет точность выполнения только одного размера – глубины паза фланца, в котором находится уплотнительная деталь в рабочем положении.

В конструкции, изображенной на рис. 21, е, с целью уменьшения размеров фланцев крепежные болты максимально приближены к уплотнительной детали и в рабочем положении касаются ее. Надежность этого соединения при тех перепадах давления, при которых обычно работают РЭС, не будет ниже, чем у соединений, изображенных на рис. 21, а – 21, в.

Расположение фланца и крепежных болтов снаружи оболочки отрицательно сказывается на эстетических и эргономических показателях РЭС. С этой точки зрения предпочтительнее расположение фланца внутри оболочки (рис. 21, ж). Но в этом случае увеличивается число соединений, требующих герметизации (необходимо уплотнение винтов), и, следовательно, снижается надежность герметизации оболочки в целом.

Кроме того, увеличивается длина периметра оболочки, ее масса и расход материала на нее. Увеличение же полезного объема, как правило, не происходит, так как он определяется площадью проема для панели. Конструкция, изображенная на рис. 21, з, – более рациональна в этом отношении.

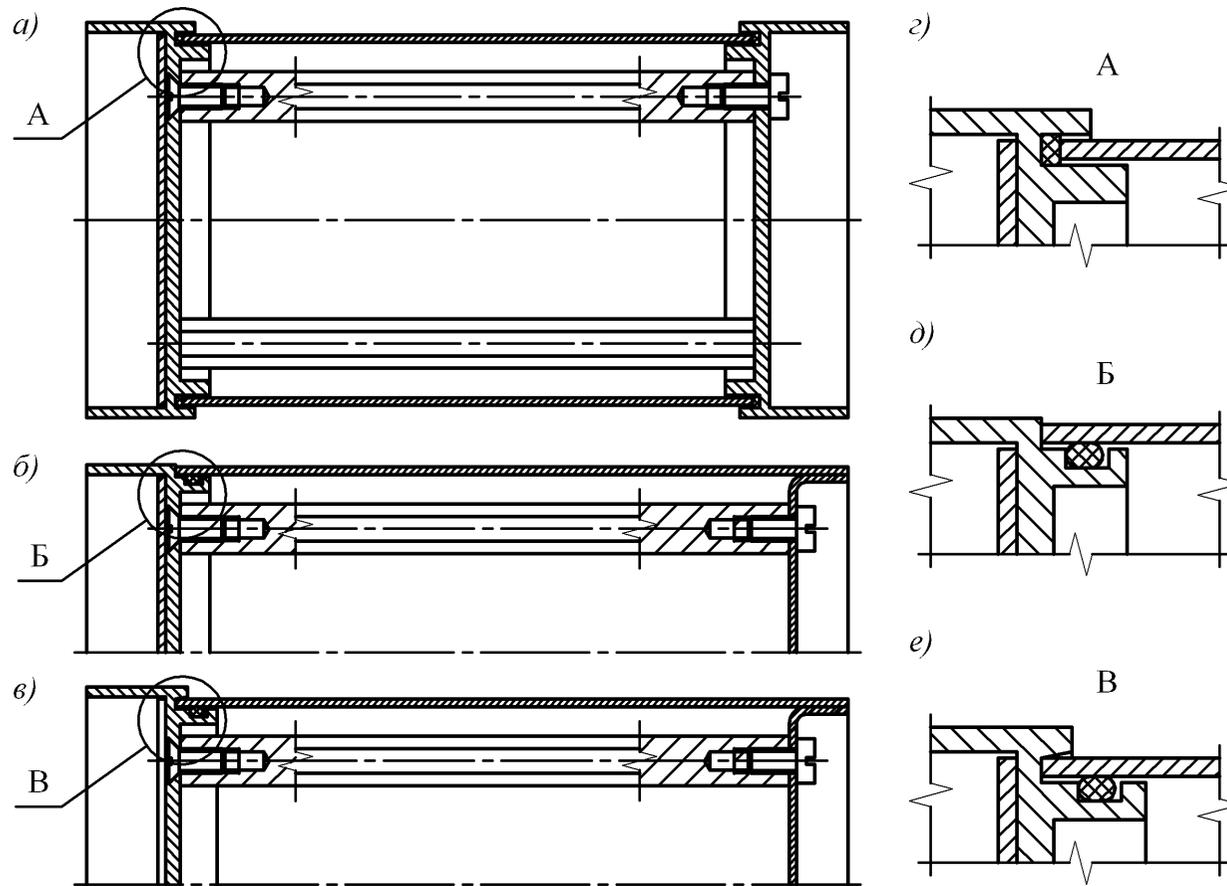


Рис. 22

уплотнительных деталей использовать стандартные резиновые кольца для гидравлических и пневматических устройств [6, 8]. Если посадочные места для них выполнять в соответствии с требованиями стандартов, то можно быть уверенным в высокой надежности соединения. Стандартные уплотнения с уплотнительным кольцом рассчитаны на работу при давлениях до 300 – 400 атмосфер. Уплотнения в оболочках РЭС работают при давлениях не более одной атмосферы, поэтому при применении в них стандартных уплотнительных колец можно допустить отступления от стандарта. Но в этих случаях

Конструкции уплотнений, изображенные на рис. 20 и рис. 21, обеспечивают высокую степень герметичности. В тех случаях, когда не требуется защита при погружении в воду, можно использовать конструкции, приведенные на рис. 22. В конструкции на рис. 22, а применяется уплотнение с осевой деформацией и неограниченным сжатием уплотнительной детали (применение ограниченного сжатия трудноосуществимо при экономических точностях изготовления деталей). Такое уплотнение занимает намного меньше места, чем уплотнения, изображенные на рис. 20 и рис. 21, но добиться полной водонепроницаемости при такой конструкции невозможно из-за отсутствия гарантированного сжатия уплотнительной детали, так как небольшое количество винтов и малая жесткость кожуха не обеспечивают необходимого усилия.

Предпочтительнее всего в качестве

требуется тщательная экспериментальная проверка качества выполнения соединения. Причины отступления от стандарта могут быть следующими:

- посадочные места для уплотнительного кольца изготавливаются методами, не обеспечивающими необходимую точность размеров (например, прессованием пластмассы, литьем металла и т. д.);

- требования к использованию полезного объема корпуса РЭС вынуждают уменьшать размеры фланца, а, следовательно, и диаметр сечения уплотнительного кольца;

- из-за отсутствия на предприятии оборудования, необходимого для изготовления резиновых колец формованием, кольца склеивают из резиновых шнуров [4], стандартные диаметры сечений которых не совпадают с диаметрами сечений стандартных колец.

Конструкция с радиальным сжатием уплотнительного кольца (рис. 22, б) удовлетворительно работает при цилиндрической форме кожуха. Можно ее применять и в небольших по размерам корпусах, имеющих форму прямоугольного параллелепипеда, предназначенных для пыли- и брызгозащищенных РЭС. Для корпусов больших размеров, когда жесткость стенок кожуха недостаточна, чтобы сжать уплотнительную деталь в средней части стенки, необходимо применять конструкцию, изображенную на рис. 22, в.

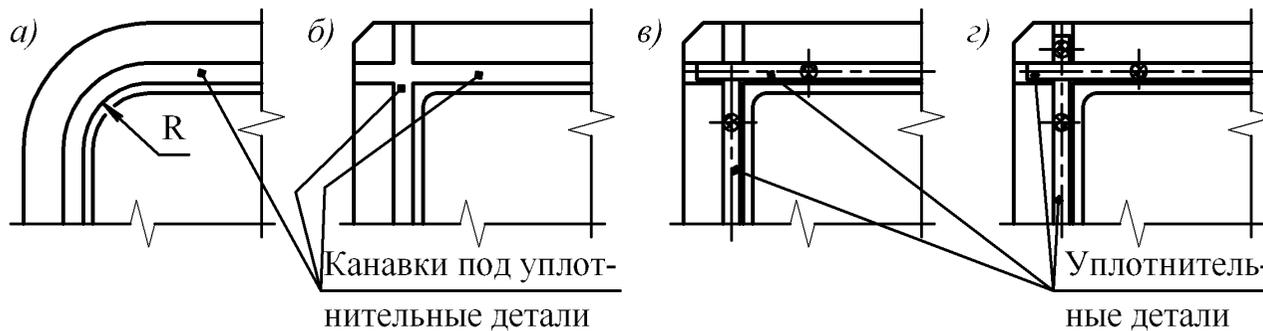


Рис. 23

В прямоугольных фланцах взаимно перпендикулярные участки канавок под уплотнительную деталь соединяются плавными переходами (рис. 23, а). Для упрощения изготовления канавки на прямоугольных фланцах можно выполнять без плавных переходов, как показано на рис. 23, б. Герметизация в этом случае осуществляется четырьмя отдельными кусочками резинового шнура, который закладывается по контуру фланца (рис. 23, в, 23, г.).

#### Некоторые расчетные соотношения

Усилие, необходимое для сжатия единицы длины периметра уплотнительной детали, можно рассчитать по следующим формулам:

для колец круглого сечения (рис. 21, *д*)

$$p = 3,12\varepsilon^2 Ed, \quad (1)$$

для прокладки прямоугольного сечения (рис. 21, *з*) без смазки

$$p = 3,12\varepsilon^2 Ed, \quad (2)$$

для прокладки прямоугольного сечения (рис. 21, *з*) при хорошей смазке

$$p = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} Eb \left( 1 + \frac{b^2}{4d^2} \right), \quad (3)$$

где  $p$  – усилие, необходимое для сжатия единицы длины уплотнительной детали, Н/мм;

$\varepsilon$  – относительная деформация уплотнительной детали;

$d$  – диаметр сечения для кольца круглого сечения или высота сечения для прокладки прямоугольного сечения в свободном состоянии, мм;

$b$  – высота сечения прокладки прямоугольного сечения в свободном состоянии, мм;

$E$  – модуль упругости резины при сжатии, МПа.

Относительная деформация определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{d - h}{d}, \quad (4)$$

где  $h$  – высота сечения уплотнительной детали в сжатом состоянии, мм.

Модуль упругости резины при сжатии можно определить по табл. 2

Таблица 2 – Зависимость модуля упругости резины от твердости

Твердость резины в единицах <i>JRHD</i> (по Шору А, по твердомеру ТМ-2)	Твердость резины по твердомеру ТШМ-2, кгс/см	Модуль упругости резины при сжатии <i>E</i> , МПа
40	6,4 – 4,7	1,5
50	7,3 – 5,5	2,5
60	10,0 – 7,2	4,5
70	11,4 – 9,5	7
80	22,0 – 14,8	10
90	39,8 – 23,0	21

Зависимость (1) получена решением следующей системы уравнений [1]:

$$p_{i0} = 0,9\sqrt{\frac{pE}{d}}, \quad p_{cp} = \frac{3,14}{4}p_{i0}, \quad p_{cp} = 1,25\varepsilon E,$$

где  $p_{i0}$  – максимальное давление на поверхности контакта кольца и герметизируемых поверхностей;

$p_{cp}$  – среднее давление на поверхности контакта.

Зависимости (2) и (3) легко получаются из следующих справедливых для прокладок прямоугольного сечения соотношений [1]:

$$\text{без смазки } p_k = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} E_\Phi, \quad \text{при хорошей смазке } p_k = \varepsilon E_\Phi,$$

где  $p_k$  – контактное давление;  $E_\Phi$  – условный модуль упругости, определяемый по формуле  $E_\Phi = E(1+\Phi^2)$ ;  $\Phi$  – коэффициент формы, определяемый по формуле  $\Phi=b/4d$ .

Когда известно усилие, необходимое для сжатия единицы длины периметра уплотнительной детали, усилие, необходимое для сжатия всей уплотнительной детали, легко определяется по формуле

$$P = pL, \quad (5)$$

где  $P$  – усилие, необходимое для сжатия всей уплотнительной детали, Н;

$L$  – длина периметра уплотнительной детали, мм.

По значению усилия  $P$  с учетом внутреннего избыточного давления определяют диаметры и количество соединительных болтов.

При конструировании уплотнений рекомендуются следующие соотношения между размерами конструктивных элементов:

$$\varepsilon_{min} = 0,15; \quad \varepsilon_{max} = 0,35; \quad h_{min} = (1 - \varepsilon_{max}) d_{max}; \quad h_{max} = (1 - \varepsilon_{min}) d_{max},$$

$$a_{min} h_{min} = (1,05 \dots 1,15) F_{max}; \quad H = 1,5d_6; \quad A = 0,6S; \quad B = 1,7d_6; \quad R = 5d \text{ или } R = 5b,$$

где  $\varepsilon_{min}$  и  $\varepsilon_{max}$  – минимальная и максимальная деформации уплотнительной детали;

$h_{min}$  и  $h_{max}$  – минимальная и максимальная глубина  $h$  канавки под уплотнительную деталь (рис. 21, з);

$d_{min}$  и  $d_{max}$  – минимальный и максимальный диаметр  $d$  уплотнительного кольца или минимальная и максимальная высота  $d$  прокладки (рис. 21, з и 21, д);

$a_{min}$  – минимальная ширина  $a$  канавки (рис. 21, з);

$F_{max}$  – площадь сечения уплотнительной детали ( $F_{max} = 0,785d_{max}^2$  для кольца круглого сечения и  $F_{max} = d_{max} b_{max}$  – для прямоугольной прокладки);

$b_{max}$  – максимальная ширина  $b$  прямоугольной прокладки (рис. 21, з);

$d_6$  – диаметр болта (рис. 21, в);

$S$  – размер «под ключ» болта;

$A, B, H$  – размеры фланца (рис. 21, в);

$R$  – радиус закругления канавки под уплотнительную деталь (рис. 23, а).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондаков Л. А. Уплотнения гидравлических систем. – М.: Машиностроение, 1973.
2. Рот А. Вакуумные уплотнения. Пер. С англ. – М.: Энергия, 1971.
3. ГОСТ 4401 – 81. Атмосфера стандартная. Параметры.
4. ГОСТ 6467 – 79. Шнуры резиновые круглого и прямоугольного сечений. Технические условия.
5. ГОСТ 7338 – 90. Пластины резиновые и резиново-тканевые. Технические условия.
6. ГОСТ 9833 – 73. Кольца резиновые уплотнительные круглого и прямоугольного сечения для гидравлических и пневматических устройств. Конструкция и размеры.
7. ГОСТ 14254 – 80. Изделия электротехнические. Оболочки. Степени защиты. Обозначения. Методы испытаний.
8. ГОСТ 18829 – 73. Кольца резиновые уплотнительные круглого сечения для гидравлических и пневматических устройств. Технические условия.
9. ОСТ4 Г0.010.009 – 84. Модули электронные первого и второго уровня радиоэлектронных средств. Конструирование.

## СОДЕРЖАНИЕ ХРЕСТОМАТИИ

### Тема 1. ПРЕДИСЛОВИЕ

### Тема 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

**Бобков Н. М. О подготовке конструкторов РЭС в средних специальных учебных заведениях // Среднее профессиональное образование. 2002. № 11**

**Бобков Н. М. Основы конструирования. Проблемы терминологии // Вестник машиностроения. 2002. № 9**

**Бобков Н. М. Что такое конструирование радиоэлектронных средств? // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2008. № 1, 2**

**Функциональные системы и конструктивные уровни РЭС (Каленкович Н. И., Фастовец Е. П., Шамгин Ю. В. Механические воздействия и защита радиоэлектронных средств: учеб. пособие. Минск, 1989. С. 9 – 11)**

**Бобков Н. М. Конструирование и строительное конструирование РЭС // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2**

**Бобков Н. М. Систематизация терминологии в области конструирования радиоэлектронных систем // Труды Нижегородского государственного технического университета имени Р. Е. Алексеева. 2014. № 3**

**Бобков Н. М. Категории науки о конструировании // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2)**

**Общие требования к разрабатываемым (модернизируемым) техническим системам (Из ГОСТ 15.016 – 2016 Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению)**

### Тема 3. ТИПОВОЙ ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Бобков Н. М. Конструкторская документация и порядок ее разработки // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2**

**Бобков Н. М. Применение положений стандартов ЕСКД в публикациях по конструированию: типичные ошибки // Стандарты и качество. 2004. № 8**

**Бобков Н. М. Типовой порядок разработки технических систем // Справочник. Инженерный журнал. 2018. № 2**

### Тема 4. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ РЭС

#### Основные понятия

**Влияние физических параметров окружающей среды (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982. С. 140 – 143)**

**Воздействие на РЭА внешних механических факторов** (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982. С. 143 – 145)

**Основные эффекты, вызываемые воздействием отдельных внешних факторов** (Из ГОСТ 28198 – 89 Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 1. Общие положения и руководство по применению)

**Предельные нормы эксплуатации** (Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. М. 1982. С. 145 – 147)

**Бобков Н. М. Механические воздействия и нагрузки на элементы несущих систем РЭС** // Кварц: радиоизмерения и электроника: научно-технический и рекламно-коммерческий периодический журнал НИИПИ «Кварц». 1998. Вып. № 7

**Общие требования к РЭС в части стойкости к механическим ВВФ при эксплуатации** (Из ГОСТ 30631 – 99 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации)

**Общие требования к РЭС в части условий хранения и транспортирования** (Из ГОСТ Р 51908 – 2002 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части условий хранения и транспортирования)

**Испытание на прочность при транспортировании** (Из ГОСТ Р 51909 – 2002 Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на транспортирование и хранение)

**Общие требования к РЭС в части стойкости к климатическим ВВФ при эксплуатации** (Из ГОСТ 15150 – 99 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды)

#### **Тема 5. МЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РЭС**

**Механические системы** (Справочник металлиста. В 5-ти т. Т. 1. М., 1976. С. 18 – 22)

**Основные сведения о механизмах** (Фаддеева Л. А. Теория механизмов и детали приборов: учебник. Л., 1983. С. 5 – 11)

**Сопротивление материалов, теория упругости и прочее ...** (Феодосьев В. И. Десять лекций-бесед по сопротивлению материалов. М., 1975. С. 5 – 6)

**Неизменяемые, изменяемые и мгновенно изменяемые системы** (Киселев В. А. Строительная механика. Общий курс: учебник. М., 1986. С. 12, 13)

**Реакции связей почти мгновенно изменяемых систем** (Киселев В. А. Строительная механика. Общий курс: учебник. М., 1986. С. 25, 26)

**Классификация плоских систем** (Киселев В. А. Строительная механика. Общий курс: учебник. М., 1986. С. 30, 31)

**Бобков Н. М. Радиоэлектронные средства как строительные сооружения** // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2010. № 1, 2

**Кинематический анализ стержневых систем** (Спицына Д. Н. Строительная механика стержневых систем: учеб. пособие. М., 1977. С. 8 – 15)

**Образование и кинематический анализ плоских систем** (Живейнов Н. Н., Карасев Г. Н., Цвей И. Ю. Строительная механика и металлоконструкции строительных и дорожных машин: учебник. М., 1988. С. 10, 11)

#### **Тема 6. ПРОЧНОСТЬ НЕСУЩИХ СИСТЕМ РЭС**

**Сведения из теории сопротивления материалов** (Еленев С. А. Холодная штамповка: учебник. М., 1981. С. 9 – 16)

**Переменные напряжения. Выбор допускаемых напряжений** (Красновский Е. Я., Дружинин Ю. А., Филатова Е. М. Расчет и конструирование механизмов приборов и вычислительных систем: учеб. пособие. М., 1991. С. 171 – 178)

**Бобков Н. М. Оценка усталостной прочности несущих деталей БНК при воздействии вибрации** // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 1997. № 4

**Прочность и жесткость конструкций** (Рошин Г. И. Несущие конструкции и механизмы РЭА: учебник. М.: 1981. С. 33 – 42)

#### **Тема 7. ВОПРОСЫ БАЗИРОВАНИЯ В КОНСТРУИРОВАНИИ**

**Основные положения теории базирования** (ГОСТ 21495 – 79 Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. Приложение 1)

**Базирование деталей** (Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие. М., 2008. С. 57 – 64)

**Основы базирования** (Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов: учеб. пособие. Л., 1982. С. 24 – 30, 34 – 41, 44 – 50)

#### **Тема 8. КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ**

**Основы конструирования деталей** (Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов: учеб. пособие. Л., 1982. С. 9 – 16)

**Справочное руководство по конструированию элементов радиоэлектронных средств** (Приложение 2 к промежуточному отчету № 1 о НИР «Наледь. Исследование конструкций несущих систем, электроустановочных изделий и других элементов РЭС. Составление комплекса методических пособий «Конструкции элементов РЭС в примерах и задачах» / Нижегородский технический колледж; руководитель Н. М. Бобков; № ГР 01990006251; Инв. № 02200000313. Н. Новгород, 1999)

#### **Тема 9. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**Модульные и базовые конструкции изделий, базовые изделия** (Из рекомендаций Р 50-54-103 – 88 Модульные и базовые конструкции изделий. Основные положения)

**Бобков Н. М. Принцип базового проектирования в радиоаппаратостроении** // Справочник. Инженерный журнал. 2003. № 2

**Бобков Н. М. Агрегатное и модульное проектирование технических систем** // Справочник. Инженерный журнал. 2009. № 5

**Бобков Н. М. Базовые несущие конструкции аппаратуры Нижегородского приборостроительного. Проектирование оболочек герметичных корпусов** // Кварц: радиоизмерения и электроника: научно-технический и рекламно-коммерческий периодический журнал НИИПИ «Кварц». 1996. Вып. № 5

#### **Тема 10. УНИФИКАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ РЭС**

**Унификация изделий** (Из ГОСТ 23945.0 – 80 Унификация изделий. Основные положения)

**Расчет показателей уровня унификации и стандартизации изделий** (Из методических указаний РД 50-33 – 80 Определение уровня унификации и стандартизации изделий)

**Оценка состояния государственной стандартизации БНК в России** (Раздел 3 промежуточного отчета № 1 о НИР «Берилл. Несущие системы и базовые несущие изделия РЭС специального и общего применения. История конструкций, современные требования, перспективы» / Нижегородский научно-производственный центр современных технологий «Берег-Волна»; руководитель Н. М. Бобков; № ГР У83485; инв. № Г36590. Н. Новгород, 2000)

**Эволюция БНК Нижегородского научно-исследовательского приборостроительного института «КВАРЦ»** (Разделы 1– 4 заключительного отчета о НИР «Берилл. Несущие системы и базовые несущие изделия РЭС специального и общего применения. История конструкций, современные требования, перспективы» / Нижегородский научно-производственный центр современных технологий «Берег-Волна»; руководитель Н. М. Бобков; № ГР У83485; инв. № Г38225. Н. Новгород, 2000)

#### **Тема 11. ОСНОВНЫЕ НОРМЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ**

**Допуски и посадки гладких цилиндрических и плоских соединений** (Допуски и посадки: справочник. В 2-х ч. Ч. 1. Л., 1982. С. 8 – 10, 12 – 19, 28 – 31)

**Шероховатость поверхности** (Орлов П. И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1. М., 1988. С. 287 – 295)

**Обозначения шероховатости поверхностей** (из ГОСТ 2.309 – 73 ЕСКД. Обозначения шероховатости поверхностей)

#### **Тема 12. ЭЛЕМЕНТЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ ТОНКОСТЕННЫХ СИСТЕМ**

**Кручение брусев прямоугольного поперечного сечения** (Бородин Н. А. Соппротивление материалов: учебник. М., 1992. С. 74 – 76)

**Кручение брусев тонкостенного профиля** (Бородин Н. А. Соппротивление материалов: учебник. М., 1992. С. 76 – 78)

**Некоторые общие вопросы теории тонкостенных стержней** (Бояршинов С. В. Основы строительной механики машин: учеб. пособие. М., 1985. С. 5 – 7)

**Кручение тонкостенных брусьев** (Любощиц М. И., Ицкович Г. М. Справочник по сопротивлению материалов. Минск, 1969. С. 157 – 164)

**Кручение тонкостенных брусьев открытого профиля** (Глушков Г. С., Синдеев В. А. Курс сопротивления материалов: учебник. М., 1965. С. 236, 237)

**Тема 13. ПРЕДОХРАНЕНИЕ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОТ САМООТВИЧИВАНИЯ**

**Трение покоя при вибрации** (Литвин Ф. Л. Проектирование механизмов и деталей приборов. Л., 1973. С. 46 – 48)

**Предохранение резьбовых соединений от самоотвинчивания** (Решетов Д. Н. Детали машин: учебник для вузов. М., 1989. С. 135 – 138)

**Способы и виды предохранения резьбовых соединений от самоотвинчивания** (Из ОСТ 4Г 0.019.200 Соединения резьбовые. Способы и виды предохранения от самоотвинчивания. Технические требования)

**Тема 14. ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Термины и определения основных понятий** (Из ГОСТ Р 27.102 – 2021 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения)

**Проектирование радиоаппаратуры с учетом требований надежности** (Фрумкин Г. Д. Расчет и конструирование радиоаппаратуры: учебник для техникумов. М., 1989. С. 16 – 37)

**Интенсивности отказов элементов электронной аппаратуры в номинальном режиме ( $T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $K_n = 1$ ) и поправочные коэффициенты** (Теория надежности радиэлектронных систем в примерах и задачах / Под ред. Г. В. Дружинина. М., 1976. С. 136 – 138, С. 339 – 347)

Николай Михайлович Бобков – преподаватель Нижегородского радиотехнического колледжа, конструктор Нижегородского научно-производственного объединения имени М. В. Фрунзе.

E-mail: n.bobkov@mail.ru