

Н. М. БОБКОВ

Лекции по общему конструированию РЭС

Раздел 5 Принципы и методы проектирования

Из ряда неподходящих, но допустимых систем,
мы должны постараться создать систему,
которая менее всего является никудышной [1]

Сокращения

ЕСКД – Единая система конструкторской документации

КД – конструкторская документация

НИОКР – научно-исследовательская, опытно-конструкторская работа и/или разработка аванпроекта

НИР – научно-исследовательская работа

ОКР – опытно-конструкторская работа

РЭС – радиоэлектронное средство

СРПП – Система разработки и постановки продукции на производство

ССБТ – Система стандартов безопасности труда

ТЗ – техническое задание

ТЗ_{окр} – техническое задание на опытно-конструкторскую работу

ЭРИ – изделие электронной техники, квантовой электроники или электротехническое (электрорадиоизделие)

T-система – техническая система

Лекция 5.1 ОБЗОР МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗ НЕКОТОРЫХ ИЗДАНИЙ

Внутреннее проектирование t -систем объективно разделяется на два взаимосвязанных процесса:

- 1) процесс поиска (выбора, синтеза или, говоря проще, придумывания) конструктивных решений новой t -системы;
- 2) процесс проверки работоспособности t -системы новой конструкции и соответствия ее предъявленным требованиям.

Соответственно необходимо различать две группы методов проектирования: методы поиска оптимальных решений и методы оценки возможных решений; процесс принятия решений основан на синтезе тех и других [2].

Первый процесс является обязательным признаком проектирования t -систем. Никакая совокупность знаний не может называться наукой о конструировании, если в ней не изучаются методы выполнения этого процесса. За исключением некоторых частных и непредставительных случаев первый процесс не поддается формализации, математизации и автоматизации.

Проверка работоспособности (второй процесс) может выполняться путем мысленного эксперимента (на начальных этапах проектирования), расчетным путем или исследованием математических моделей, исследованиями материальных моделей или макетов, испытаниями экспериментальных и опытных образцов. Наиболее достоверный, но и наиболее затратный метод проверки результатов проектирования – опытная эксплуатация новой t -системы.

Сложность формализации и математизации первого процесса, возможность и относительная простота математизации второго процесса привели к тому, что учебники по конструированию t -систем содержат в основном методы расчетов типовых элементов t -систем, их работоспособности и надежности. Проектирование часто отождествляют с такими расчетами, а также с оформлением КД. Но для того, чтобы рассчитывать, необходимо иметь что рассчитывать, т. е. необходимо иметь конструкцию. Конструкция предшествует расчетам, а не расчеты конструкции [3]. Придумать, что рассчитать, – есть главный процесс внутреннего проектирования и конструирования в целом.

В литературе по конструированию можно найти описания методов, называемых авторами методами конструирования или проектирования. Эти описания различаются отраслевой принадлежностью, степенью общности, логической обоснованностью. В этой лекции приводятся краткие описания некоторых из таких методов конструирования (или проектирования).

5.1.1 Методы конструирования из книги [4]

В этой работе методы конструирования РЭА подразделяются на три взаимосвязанные группы (рисунок 1): 1) по видам связей между элементами; 2) по способу выявления и организации структуры связей между элементами; 3) по степени автоматизации выявления структуры связей между элементами.

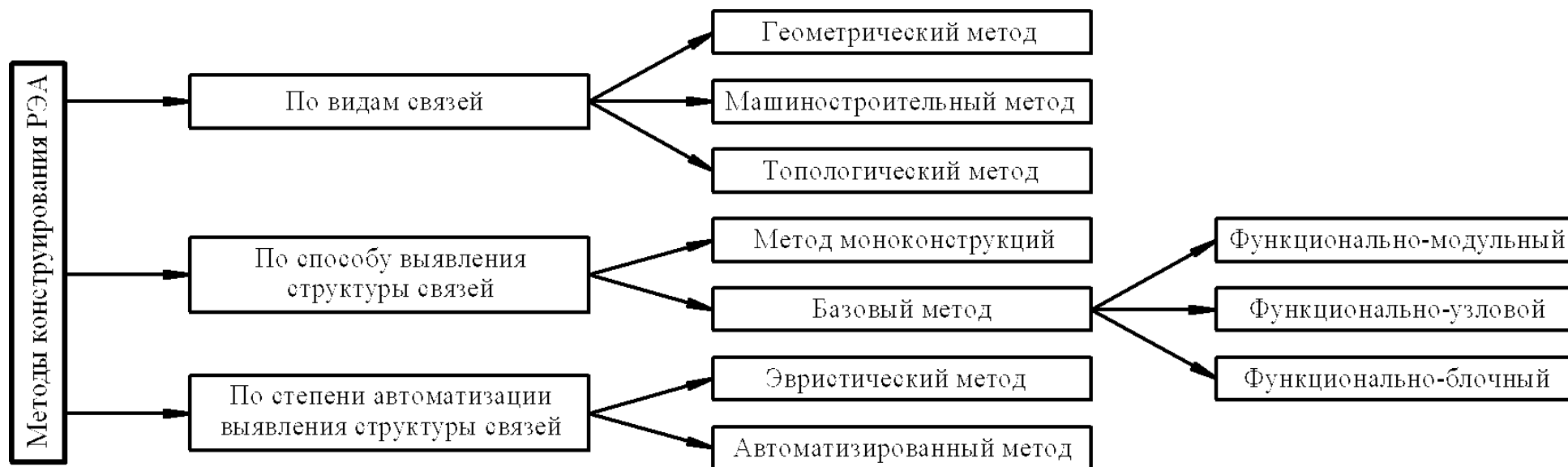


Рисунок 1 – Методы конструирования РЭА [4]

Геометрический метод. В основу метода положена структура геометрических и кинематических связей между деталями, представляющая собой систему опорных точек, число и размещение которых зависит от заданных степеней свободы и геометрических свойств твердого тела.

Машиностроительный метод. В основу этого метода положена структура геометрических и кинематических связей между деталями, представляющая собой систему опорных поверхностей, число и размещение которых выбирается исходя из минимизации массы и допустимой прочности t -системы.

Топологический метод. В основу его положена структура физических связей между электрорадиоэлементами, т. е. представление конструктивного вида электрической схемы и ее геометрической (топологической) связности, независимо от ее функционального содержания.

Метод проектирования моноконструкций основан на минимизации числа связей в конструкции, он применяется для создания функциональных узлов, блоков, радиотехнических устройств на основе оригинальной несущей конструкции (каркасе, шасси) в виде моноузла (моноблока) с оригинальными элементами.

Базовый метод конструирования. В основу метода положено деление аппаратуры на конструктивно и схемно законченные части. Базовый метод конструирования и его разновидности (функционально-модульный, функционально-узловой и функционально-блочный методы) основываются на принципах агрегатирования, функциональной и размерной взаимозаменяемости, схемной и конструктивной унификации. Базовый метод является основным при проектировании современной РЭА, он имеет много преимуществ по сравнению с методом моноконструкций.

Эвристический метод использует обобщенный практически опыт (коллективную мудрость) в области конструирования РЭА и смежных областей. Метод является основным в практической деятельности конструктора РЭА.

Метод автоматизированного (автоматического) проектирования основан на использовании электронных вычислительных машин для решения задач компоновки электрорадиоэлементов, трассировки межсоединений различных структурных уровней, вычерчивания чертежей и выпуска КД.

5.1.2 Методы конструирования из книги [5]

Секционирование. Метод секционирования заключается в разделении машины на одинаковые секции и образовании производных машин набором унифицированных секций.

Секционированию хорошо поддаются многие виды подъемно-транспортных машин (ленточные, скребковые, цепные конвейеры). Секционирование в данном случае сводится к построению каркаса машин из секций и составлению машин различной длины с новым несущим полотном. Особенно просто секционируются машины со звеньевым несущим полотном (ковшовые элеваторы, пластинчатые конвейеры с полотном на основе втулочных роликовых цепей), у которых длину полотна можно изменять изъятием или добавлением звеньев.

Экономичность образования машин этим способом мало страдает от введения отдельных нестандартных секций, которые могут понадобиться для приспособления длины машины к местным условиям.

Секционированию поддаются также дисковые фильтры, пластинчатые теплообменники, центробежные, вихревые и аксиальные гидравлические насосы. В последнем случае набором секций можно получить ряд многоступенчатых насосов различного напора, унифицированных по основным рабочим органам.

Метод изменения линейных размеров. При этом методе с целью получения различной производительности машин и агрегатов изменяют их длину, сохраняя форму поперечного сечения. Метод применим к ограниченному классу машин (главным образом роторных), производительность которых пропорциональна длине ротора (шестеренчатые и центробежные насосы, компрессоры, мешалки, вальцовочные машины и т. д.).

Степень унификации при этом методе невелика. Унифицируются только торцовые крышки корпусов. Частным случаем применения данного метода является повышение нагрузочной способности зубчатых передач за счет увеличения длины зубчатых колес с сохранением их модуля.

Метод базового агрегата. В основе этого метода лежит применение базового агрегата, превращаемого в машины различного назначения присоединением к нему специального оборудования. Наибольшее применение метод имеет при создании дорожных машин, самоходных кранов, погрузчиков, укладчиков, а также сельскохозяйственных машин.

Базовым агрегатом в данном случае обычно является тракторное или автомобильное шасси, выпускаемое серийно. Монтируя на шасси дополнительное оборудование, получают серию машин различного назначения.

Применение специального оборудования требует разработки дополнительных механизмов и агрегатов – коробок отбора мощности, подъемных и поворотных, лебедок, реверсов, тормозов, механизмов управления, кабин, которые, в свою очередь, можно в значительной степени унифицировать.

Конвертирование. При методе конвертирования базовую машину или основные ее элементы используют для создания агрегатов различного назначения, иногда близких, а иногда различных по рабочему процессу. Примером конвертирования может служить перевод поршневых двигателей внутреннего сгорания с одного вида топлива на другой, с одного вида теплового процесса на другой (с цикла искрового зажигания на цикл с воспламенением от сжатия).

Примером конвертирования агрегатов, сильно различающихся по рабочему процессу, может служить преобразование двигателя внутреннего сгорания в поршневой компрессор. Конвертирование в данном случае включает замену головок двигателя клапанными коробками с соответствующим изменением механизма распределения и требует значительных переделок.

Компаундирование. Метод компаундирования (параллельного соединения машин или агрегатов) применяют с целью увеличения общей мощности или производительности установки. Спариваемые машины могут быть или уста-

новлены рядом как независимые агрегаты, или связаны друг с другом синхронизирующими, транспортными и другими подобными устройствами, или, наконец, конструктивно объединены в один агрегат.

Примером совмещения первого типа является парная установка судовых двигателей, работающих каждый на свой винт, а также установка двух или большего числа двигателей в крыльях самолета.

Примером совмещения второго типа является параллельная установка машин-орудий группами (по две-три). Ее применяют в автоматических линиях, когда производительность отдельной машины, входящей в поток, значительно уступает производительности всей линии. Такая установка требует разделения потока на два или больше потоков (соответственно числу параллельно устанавливаемых машин) с последующим соединением в один.

Примером совмещения третьего типа является сдваивание или страивание линейных машин-орудий, т. е. объединение нескольких рабочих трактов на общей станине. В результате получается многолинейная параллельно-поточная машина с производительностью, повышенной соответственно числу трактов.

Агрегатирование. Агрегатирование заключается в создании машин путем сочетания унифицированных агрегатов, представляющих собой автономные узлы, устанавливаемые в различном числе и комбинациях на общей станине.

Наиболее полное отражение этот принцип получил в конструкции агрегатных металлообрабатывающих станков. Такие станки создают на основе унифицированных блоков (основные блоки, механизмы синхронизации, поворотные столы, корпуса общего назначения, станины, тумбы, вспомогательные узлы, системы подачи смазочно-охлаждающих жидкостей).

Основные преимущества агрегатирования: сокращение сроков и стоимости проектирования и изготовления машин, упрощение обслуживания и ремонта, возможность переналадки для обработки разнообразных деталей. Метод агрегатирования весьма перспективен. Помимо металлорежущих станков он применим для других машин-орудий.

5.1.3 Методы конструирования из книги [2]

Основным методом поиска оптимальных решений является в настоящее время метод аналогии, обусловленный личным опытом конструктора и опытом, обобщенным в справочной литературе; большинство решений принимаются этим методом. Оценка принимаемых решений носит качественный характер и лишь в отдельных случаях основана на выполнении проверочных расчетов.

В тех случаях, когда возникают затруднения с принятием однозначного решения, конструктор прибегает к методу перебора известных вариантов. Оценка вариантов имеет большое значение и в особо сложных случаях основывается на проверочных расчетах и даже на экспериментальных исследованиях, однако решения и тогда принимаются главным об-

разом на основе опыта. Основная причина этого связана с отсутствием в настоящее время инженерных методик выполнения оценок по большому числу критериев.

Следующая ступень усложнения процесса принятия решений характеризуется недостаточным набором известных возможных вариантов; процесс конструирования начинается с поиска подходящих вариантов, который выполняется методом проб и ошибок, и состоит в разработке новых вариантов на основе комбинирования известных; при этом нередки случаи изобретений оригинальных решений.

В общем случае качество будущего объекта должно удовлетворять ряду требований, т. е. должно оцениваться по нескольким показателям качества, например по точности, надежности, стоимости и т. д. Опыт показывает, что описанные методы конструирования не обеспечивают в этих условиях оптимальность принимаемых решений. Основной причиной являются трудность одновременной оптимизации по всем показателям. В реальных условиях проектирования конструктор, хотя и держит в поле внимания все показатели, но предпочтение отдает некоторым, по его мнению, наиболее критичным в данном случае.

5.1.4 Методы проектирования из книги [3]

Поисковый (интуитивный) метод применяется при разработке принципиально новых конструкций. В этом творческом методе наиболее ярко выражен индуктивный (основанный на индукции) и синтетический (основанный на синтезе) характер конструкторской работы. Этот метод является методом находок, последовательного подбора, постепенного приближения к поставленной цели, предполагающим творческую основанную на индукции работу конструктора.

В ряде случаев поисковый метод служит предпосылкой для последующего применения экспериментального метода, который используется при отсутствии достаточной теоретической базы для конструирования и расчета.

Метод аналогии (расчетный) применяется при наличии образца, сходного по назначению, параметрам и компоновке с проектируемым изделием. Под аналогией понимается сходство предметов или явлений в некоторых определенных, но не во всех отношениях.

Метод подобия (расчетный или экспериментальный) применяется при наличии аналитических зависимостей, подтверждающих возможность пропорционального пересчета размеров и параметров для физического моделирования. В отличие от аналогичных предметов, геометрически подобными называются такие, в которых имеется взаимно однозначное соответствие сходных точек каждого из них во всех трех измерениях.

Метод серийного (или модульного) проектирования. Под этим методом понимается одновременная (параллельная) разработка конструктивно-унифицированного и нормализованного размерно-параметрического ряда (единой серии) изделий, в рамках заданного диапазона параметров, на основе принятого за базис типоразмера (базисной модели). Методы и приемы серийного проектирования: 1) методы аналогии, приближенного геометрического подобия и аффинности; 2) метод наращивания узлов; 3) метод агрегатирования (или комбинированный).

5.1.5 Методы проектирования из книги [6].

В этой книге изложены четыре метода проектирования корпусов судов:

- 1) прототипа;
- 2) последовательных конструктивно-расчетных приближений;
- 3) последовательных конструктивно-экспериментальных приближений;
- 4) расчетный.

Метод прототипа. При этом методе проектирование выполняют путем подражания уже построенным образцам, последовательно внося в них изменения на основании накопленного опыта.

Метод последовательных конструктивно-расчетных приближений. Если конструктор не располагает удовлетворительным прототипом и не может проектировать конструкцию по правилам классификационных организаций (в случае проектирования нового типа, выходящего за рамки таблиц правил), пользуются методом, который может быть назван методом последовательных конструктивно-расчетных приближений. Сущность этого метода состоит в том, что, задаваясь в первом приближении размерами и формой конструкции (теоретически – произвольно, а практически – на основе использования данных по аналогичным судам, которые, однако, нельзя строго считать прототипами, и личного опыта конструктора), выполняют расчет прочности ее и на основании этого расчета усиливают или облегчают элементы конструкции и изменяют ее форму. Полученную таким образом новую конструкцию (второе приближение) также проверяют путем расчета прочности. Так продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто удовлетворительное использование материала конструкции, на что указывают удовлетворительные весовые показатели ее.

Метод последовательных конструктивно-экспериментальных приближений. Для конструкций незначительных размеров и отдельных элементов крупных конструкций с успехом может быть использован метод последовательных конструктивно-экспериментальных приближений. По этому методу выполняют конструкцию, принятую в качестве первого приближения и изучают ее прочность экспериментальным путем. На основании результатов экс-

перимента изменяют форму и размеры конструкции, вновь выполняют ее и снова испытывают и изменяют форму и размеры конструкции.

Расчетный метод проектирования конструкции. Это – метод проектирования конструкции корпуса, с помощью которого находят размеры элементов конструкции по данным внешним нагрузкам ее и прочностным характеристикам (главным образом допускаемым напряжениям) материала из которого она сделана.

5.1.6 Выводы

По названиям и кратким описаниям методов видно, что не существует ни единой терминологии, ни единой классификации методов. В ряде случаев методами конструирования называют методы решения каких-либо частных задач при конструировании, а не методы конструирования в целом.

Геометрический, машиностроительный и топологический методы подробнее, чем в книге [4], описаны в книге [7]. Узкоспециализированный топологический метод применяется как единственно возможный при проектировании некоторых элементов РЭС, например: интегральных схем, печатных плат, гибких печатных соединителей, электромонтажных чертежей. Его нецелесообразно включать в одну группу с универсальными геометрическим и машиностроительными методами. В одну группу с двумя последними методами должен входить полукинематический метод [2, 8]. Фактически геометрическим (в работах [2, 8] этот метод называется кинематическим), полукинематическим и машиностроительными методами конструирования в работах [2, 4, 7, 8] названы принципы решения частной задачи проектирования – задачи базирования (т. е. определения положения) деталей в t -системе [9].

В чем заключаются метод моноконструкций и базовый метод трудно понять как по характеристикам из книги [4], так и по характеристикам из книги [10], на которую первая ссылается. Основная причина этого состоит в отсутствии четких определений терминов («моноконструкция», «функционально-модульный», «функционально-узловой», «функционально-блочный») и неправильном использовании общетехнических понятий. Принципы деления на составные части, функциональной и размерной взаимозаменяемости, агрегатирования, схемной и конструктивной унификации используются в любом конструировании и не могут быть отличительным признаком базового метода конструирования.

Совершенно нельзя понять, в чем заключается эвристический метод [4]. Ясно лишь, что это не автоматизированный метод. Возможно, что это другое наименование поискового метода из [3]. С помощью автоматизированного метода, основанного на использовании вычислительной техники, в процессе конструирования решается ряд исключительно рутинных операций. Автоматизированно ничего не придумывается, поэтому этот метод нельзя рассматривать как метод творческого процесса – проектирования.

Понятнее всего методы проектирования изложены в справочно-методическом пособии [5], хотя некоторые из этих методов предназначены для решения других задач, возникающих при проектировании. Например, названные в пособии методами конструирования комплексная стандартизация и использование унифицированных рядов таковыми не являются.

В книге [6] под методами проектирования понимаются только методы определения размеров корпуса судна с точки зрения его прочности. Но по смыслу слов, входящих в наименования методов, принципы, на которых эти методы основаны, могут быть использованы при проектировании других t -систем, причем не только с точки зрения прочности.

В следующих трех лекциях изложены принципы и методы проектирования. Чтобы сделать возможным изложение этих методов в учебной литературе, их определения и характеристики, заимствованные из разных источников, в лекциях подверглись систематизации и приведены к единой терминологии

Лекция 5.2 ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В общем случае к качеству разрабатываемой t -системы предъявляется ряд противоречивых требований. Спроектировать идеальную со всех точек зрения t -систему невозможно. Как правило, при проектировании обеспечивается максимальное выполнение наиболее важных требований. Другие менее важные обеспечиваются по-минимуму [2]. Приемлемой считается t -система, с недостатками которой все участники разработки (разработчик, заказчик, изготовитель) согласны смириться [1]. В поиске таких компромиссных решений следует иметь в виду шесть принципов, сформулированных учеными-дизайнерами и названных ими принципами дизайна [11]. Но значение этих принципов выходит за рамки собственно дизайна – одного из разделов науки о конструировании t -систем, изучающего вопросы теории и практики формирования конструкций t -систем с точки зрения эргономики и технической эстетики. Поэтому в лекциях их предлагается изучать как принципы проектирования любых t -систем и, в частности, как принципы проектирования РЭС.

Социологический принцип. Его сущностью является учет структуры и динамики общественных потребностей при конструировании новых t -систем. Приступая к конструированию, конструктор должен исходить из того, что социальная задача любого производства – удовлетворение потребностей людей.

Технический принцип. Его сущность состоит в учете технологических, конструктивных, материальных закономерностей с целью создания практичных, функционально совершенных t -систем. Любая t -система призвана выполнять утилитарно-практическую функцию, соответствующую общественной потребности, и должна обладать соответствующей

щими техническими характеристиками. Технические требования, которые можно разделить на технико-производственные и технико-эксплуатационные, направлены на обеспечение точности, прочности, надежности, технологичности, функциональности *t*-систем.

Экономический принцип. Сущность этого принципа – учет затрат живого и овеществленного труда с целью создания экономически целесообразной, рентабельной *t*-системы. *T*-системы обычно разрабатываются с целью их производства и последующей продажи на рынке, поэтому любое производство должно приносить прибыль. Это предполагает использование при проектировании экономически выгодных материалов и технологий, экономически целесообразных конструкций и т. д.

Экологический принцип. Его сущность – учет закономерностей абиотических (неживых) и биотических (живых) систем с целью создания природоохранных и экологически чистых *t*-систем. Нанесение вреда окружающей среде при производстве и использовании *t*-систем должно быть сведено к минимуму.

Эргономический принцип. Сущность этого принципа – учет анатомических, физиологических и психологических качеств функционирующего человека с целью создания *t*-систем, удобных для работающих с ними людей.

Эстетический принцип. Учет композиционных закономерностей для создания красивых, эстетически выразительных *t*-систем. Вещи, создаваемые людьми для людей, должны быть красивы. При этом красота понимается широко: красота формы, красота конструкции, красота отделки, красота цвета, красота упаковки, красота фирменных знаков и пр. Красота – интегративное свойство *t*-системы, обусловленное ее целостным совершенством, системное свойство. Не может быть красивой *t*-система, если она неудобна, ненадежна, некомпактна, неэкологична и т. д.

Только два последних принципа – эргономический и эстетический – имеют прямое отношение к дизайну, и только их следует называть принципами дизайна.

К шести принципам из [11] целесообразно добавить еще один. На всех стадиях жизненного цикла *t*-системы должна обеспечиваться безопасность взаимодействующих с ней людей.

D1 безопасность: Отсутствие недопустимого риска, связанного с нанесением ущерба [12].

Безопасность продукции, процессов и услуг обычно рассматривается с целью достижения оптимального баланса ряда факторов, включая такие нетехнические факторы, как поведение человека, позволяющего свести устранимый риск, связанный с возможностью нанесения ущерба здоровью людей и сохранности имущества, до приемлемого уровня.

Важность проблемы безопасности необходимо подчеркнуть формулировкой отдельного принципа.

Принцип безопасности. Сущность этого принципа – учет анатомических, физиологических и психологических качеств функционирующего человека с целью создания *t*-систем, безопасных для работающих с ними людей.

Опасная для людей система – это предельно неудобная система, и принцип безопасности – следствие эргономического принципа.

Одной из составных частей общей проблемы безопасности является безопасность труда – состояние условий труда, при котором исключено воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов. Безопасность труда зависит от безопасности производственного оборудования и безопасности производственного процесса. В России разработана и применяется ССБТ – комплекс взаимосвязанных стандартов, содержащих требования, нормы и правила, направленные на обеспечение безопасности, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда, кроме вопросов, регулируемых трудовым законодательством [13]).

Семь рассмотренных принципов наглядно характеризуют задачи конструктора при формировании исходных требований к новой *t*-системе. Их можно считать, главным образом, принципами внешнего проектирования *t*-систем. Следующую группу принципов необходимо иметь в виду, прежде всего, при внутреннем проектировании.

Принцип Гюльднера. Меньше изобретать, больше конструировать [5].

Каждая новая *t*-система представляет собой итог работы конструкторов нескольких поколений. Исходную *t*-систему постепенно совершенствуют, обогащают новыми конструктивными решениями. Некоторые конструктивные решения отмирают, другие используются в более поздних и совершенных версиях этой *t*-системы, других *t*-системах длительное время. Формирование конструкции любой *t*-системы начинается с поиска и изучения аналогов.

***D2* аналог *t*-системы:** *T*-система, обладающая сходством функционального назначения и условий применения с рассматриваемой или разрабатываемой *t*-системой.

Поиск и изучение аналогов часто представляет собой сложную в организационном и техническом отношении задачу, во многом определяющую ход дальнейшей разработки новой *t*-системы, но никогда в ТЗ_{ОКР} не ставится задача что-то изобрести. Наоборот, нередки случаи, когда задача разработки состоит в воспроизведении (копировании) существующего изделия. Чаще же всего формирование новой конструкции заключается в изменении (более или менее значительном) конструкции некоторой существующей *t*-системы. Иногда приходится прибегать к изобретению оригинальных конструктивных решений, однако увлекаться изобретательством не следует.

На любом этапе развития *t*-системы любые ее исполнения, их параметры и образующие компоненты (элементы и связи между ними) существуют и развиваются в диалектическом единстве их изменемости и повторяемости. Под изменемостью *t*-системы понимается тенденция к постоянному обновлению ее основных признаков под воздействием меняющихся условий среды существования. Противоположную тенденцию в процессе развития системы отражает повторяемость – относительная устойчивость на тех или иных этапах развития части ее признаков. В единстве изменемости

и повторяемости состоит сущность преемственного развития *t*-систем, которое обеспечивается сознательным использованием при конструировании следующих принципов [14].

Принцип обязательности учета достижений науки и техники. Проектирование новой *t*-системы и ее составных частей предполагает обязательное использование технических решений, которыми располагают наука и производство. Это должны быть наиболее прогрессивные всесторонне проверенные и отработанные решения, образующие научно-технический потенциал предприятия, отрасли, народного хозяйства.

Принцип адаптивности. Любая проектируемая *t*-система должна быть способна приспособливать свои параметры и свойства, состав и структуру к новым условиям производства и эксплуатации. В некоторых случаях это обеспечивает возможность перевода существующей *t*-системы на другие режимы работы, соответствующие непрерывно меняющимся условиям эксплуатации. В других случаях приспособление к новым условиям работы достигается частичным изменением конструкции *t*-системы, т. е. ее модифицированием, модернизацией или совершенствованиями.

Принцип совместимости. Должна обеспечиваться совместимость изменяемых и повторяемых компонентов *t*-системы между собой по всем линиям взаимодействия при образовании нового ее исполнения (внутренняя совместимость), а также совместимость обновленного исполнения *t*-системы со смежными объектами в изменяющихся условиях окружающей среды (внешняя совместимость).

D3 совместимость: Пригодность продукции, процессов или услуг к совместному, но не вызывающему нежелательных взаимодействий использованию при заданных условиях для выполнения установленных требований [12, 15].

Частный случай совместимости – техническая совместимость.

D4 техническая совместимость: Совместимость изделий, их составных частей, конструкционных, горюче-смазочных материалов, технологических процессов изготовления и контроля [15].

Техническая совместимость по объектам совместимости делится на виды:

техническая совместимость вида «человек – изделие», характеризующая соответствие размеров и свойств изделия эргономическим особенностям человека, цель которой – оптимизация орудий труда, условий и процессов труда;

техническая совместимость составных частей изделия, характеризующая пригодность составных частей изделия к взаимодействию в соответствии с установленными требованиями;

техническая совместимость вида «изделие – среда», характеризующая пригодность изделия выполнять установленные функции в определенных условиях внешней среды;

техническая совместимость вида «изделие – технология», характеризующая пригодность рассматриваемой технологии к изготовлению изделий определенного вида с заданными показателями качества в установленные сроки и с заданной себестоимостью изготовления;

другие виды: «изделие – тара (упаковка)», «изделие – смазочный материал», «изделие – энергия», изделие – материал», «изделие – метод контроля (испытаний)», совместимость смазочных материалов.

По характеристикам совмещаемых объектов техническая совместимость делится на виды:

техническая совместимость размерная, характеризующая пригодность изделий к совместному взаимодействию по сопрягаемым геометрическим размерам;

техническая совместимость функциональная, характеризующая пригодность изделий к совместному взаимодействию по видам функций, значениям параметров и эксплуатационным характеристикам

техническая совместимость экологическая, обеспечивающая соблюдение требований охраны среды при изготовлении, эксплуатации, ремонте, утилизации и уничтожении изделия и его составных частей;

другие виды технической совместимости: санитарно-эпидемиологическая, пожаробезопасная, при трении, по надежности.

При проектировании РЭС необходимо обеспечивать их электромагнитную совместимость.

D5 электромагнитная совместимость технических средств: Способность технических средств функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавая недопустимых помех другим техническим средствам [16].

Принцип взаимозаменяемости. Старые и новые компоненты или исполнений t -систем должны быть взаимно заменяемы, если их параметры, свойства, конструктивные или технологические характеристики находятся в пределах, допускаемых условиями производства и эксплуатации этих t -систем.

D6 взаимозаменяемость: Пригодность одного изделия, процесса или услуги для использования вместо другого изделия, процесса или услуги в целях выполнения одних и тех же требований [12].

Взаимозаменяемость t -системы представляет собой свойство совокупности независимо изготовленных одинаковых составных частей некоторой t -системы сохранять свою совместимость с другими частями этой t -системы при любом допустимом отклонении параметров и размеров этих составных частей (заменять во время сборки или ремонта один экземпляр составной части другим без подгонки или пригонки при выполнении технических условий и достижения заданных показателей t -системы).

Различают следующие виды взаимозаменяемости:

а) эксплуатационную, вызываемую требованиями надежности и рационального использования составных частей (ответственные и точные сопряжения и функциональные параметры, запасные и сменные части, присоединительные элементы агрегатов и т. п.)

б) производственную, вызываемую требованиями рационального производства (сокращения пригоночных и ручных работ, механизации и автоматизации процессов, удешевление изготовления и т. п.).

Взаимозаменяемость создает возможность ведения эффективного производственного процесса, построенного на базе независимого изготовления отдельных частей t -систем. Эксплуатационную взаимозаменяемость необходимо обеспечивать при всех типах производства. Уровень производственной взаимозаменяемости тем выше, чем больше серийность производства и степень его автоматизации. Реализация принципа взаимозаменяемости является обязательным условием непрерывного развития и совершенствования t -систем.

Принцип целесообразной преемственности. В конкретных условиях развития техники и производства существуют наиболее целесообразные в техническом и экономическом отношении пропорции изменяемых и повторяемых признаков исполнений (параметров и составных частей) t -системы.

D7 преемственность конструкции t -системы: Совокупность свойств t -системы, выражающих ее технологичность с точки зрения единства изменяемости и повторяемости принятых конструктивных (инженерных, научно-технических) решений [14].

Преемственность конструкции t -системы характеризуют две группы свойств:

совокупность свойств, определяющих конструктивную преемственность t -системы и характеризующих единство повторяемости в ней компонентов (элементов и связей между ними), относящихся к множеству исполнений T -системы, и применимости новых компонентов, новизна которых обусловлена функциональным назначением t -системы;

совокупность свойств, определяющих технологическую преемственность t -системы, т. е. единство изменяемости и повторяемости технологических методов выполнения, поддержания и восстановления компонентов исполнения, которые обладают в ней качественной определенностью.

Один из методов обеспечения преемственности – унификация.

D8 унификация: Установление оптимального числа размеров или видов продукции, процессов или услуг, необходимых для удовлетворения основных потребностей [12].

Унификация обычно связана с сокращением многообразия. Унификация заключается в приведении к единообразию технических характеристик изделий, документации и средств общения (терминов, обозначений и др.).

При конструировании следует различать унификацию t -систем по составным частям (приведение составных частей t -систем к единообразию на основе установления рационального числа их разновидностей [17]) и унификацию t -систем по конструктивным решениям (приведение конструктивных решений t -систем к единообразию на основе установления рационального числа их разновидностей).

D9 унифицированная составная часть данной группы изделий: Взаимозаменяемая составная часть двух или более изделий данной группы или комплекса [17].

D10 унифицированное конструктивное решение данной группы изделий: Конструктивное решение, применяемое в двух или более изделиях данной группы или комплекса.

В зависимости от поставленных задач унификация изделий может проводиться по назначению (применению), средствам обеспечения и обслуживания, агрегатам и узлам определенного функционального назначения, условиям производства, а также по другим признакам.

Основными целями унификации являются:

ускорение темпов научно-технического прогресса в отраслях промышленности за счет сокращения сроков разработки, подготовки производства, изготовления, проведения технического обслуживания и ремонта изделий;

создание условий при проектировании и производстве для обеспечения высокого качества изделий и взаимозаменяемости их составных частей в эксплуатации;

повышение экономической эффективности создания и эксплуатации изделий за счет снижения затрат в процессе проектирования изделий, изготовления их в условиях специализации производства и технического обслуживания;

обеспечение требований обороноспособности страны.

Достижение указанных целей осуществляется проведением работ по унификации по следующим направлениям:

использование во вновь разрабатываемых и модернизируемых группах изделий ранее спроектированных, освоенных в производстве и апробированных или впервые разработанных одинаковых (повторяющихся в пределах группы изделий) составных частей;

разработка унифицированных составных частей и конструктивных решений;

разработка или выбор типовых изделий и типовых конструкций;

разработка конструктивно-унифицированных рядов изделий;

установление (ограничение) номенклатуры разрешаемых к применению изделий и материалов (симплификация).

Уровень унификации изделий по составным частям количественно характеризуется следующими коэффициентами [18].

$$\text{Коэффициент применяемости } K_{\text{пр}} = \frac{n - n_0}{n} 100\%, \quad (1)$$

где n – общее количество типоразмеров составных частей в изделии,
 n_0 – количество оригинальных типоразмеров составных частей в изделии.

Под типоразмером изделия понимают изделие данного типа и исполнения с определенными значениями параметров. Число типоразмеров соответствует числу наименований составных частей в спецификации КД. К оригинальным относят составные части, разработанные впервые для данного изделия.

$$\text{Коэффициент повторяемости } K_{\text{п}} = \frac{N - n}{N - 1} 100\%, \quad (2)$$

где N – общее количество составных частей в изделии,

Этот коэффициент характеризует уровень внутривидовой унификации изделия и взаимозаменяемость составных частей внутри данного изделия.

При необходимости определения средней повторяемости составных частей в изделии используют формулу

$$K_{\text{п}} = \frac{N}{n}. \quad (3)$$

Комплексный учет рассмотренных принципов при конструировании является определяющим условием многократного воспроизведения и закрепления в конструкциях t -систем в целесообразных объемах новейших достижений науки и техники и, следовательно, прогрессивного развития производства.

Лекция 5.3 МЕТОДЫ АГРЕГАТНОГО И МОДУЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

5.3.1 Метод агрегатного проектирования

В литературе этот метод называют методом агрегатирования или агрегатированием [5].

Слово «агрегатирование» многозначно. Оно используется для наименования: а) объединения некоторых составных частей исходной t -системы в более крупную ее составную часть; б) объединения самой t -системы с другими для совместного использования; в) метода стандартизации, заключающегося в создании объектов частного функционального назначения на основе размерной или функциональной взаимозаменяемости их составных частей.

В лекциях, чтобы избежать путаницы, агрегатирование как метод проектирования (или конструирования) называется методом агрегатного проектирования (конструирования) или агрегатным проектированием (конструированием). Этот метод является универсальным и широко используется при проектировании станков или машин-орудий [5] и других видов t -систем, включая РЭС.

Слово «агрегат» в лекциях применяется в соответствии со следующим определением.

D11 агрегат: Составная часть (деталь или сборочная единица) t -системы, занимающая высший уровень в иерархическом строении этой t -системы [19].

Составные части в виде наборов предметов – комплексы, комплекты – агрегатами не считаются. Если в рассматриваемую t -систему A входят комплексы и/или комплекты, то агрегатами t -системы A считаются сборочные единицы и детали, занимающие высший уровень в иерархическом строении этих наборов (рисунок 2, а).

Агрегатами по определению D9 могут быть и детали. Это основное отличие понятия «агрегат», используемого в лекциях, от понятий, выражаемых словом «агрегат», в других публикациях. Например, агрегатами зажима заземления по рисунку 2, б являются мелкие крепежные детали.

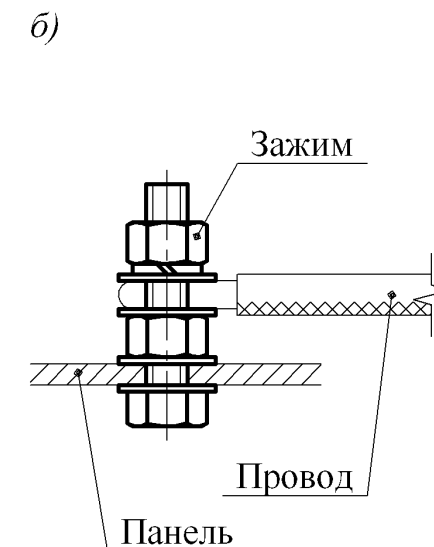
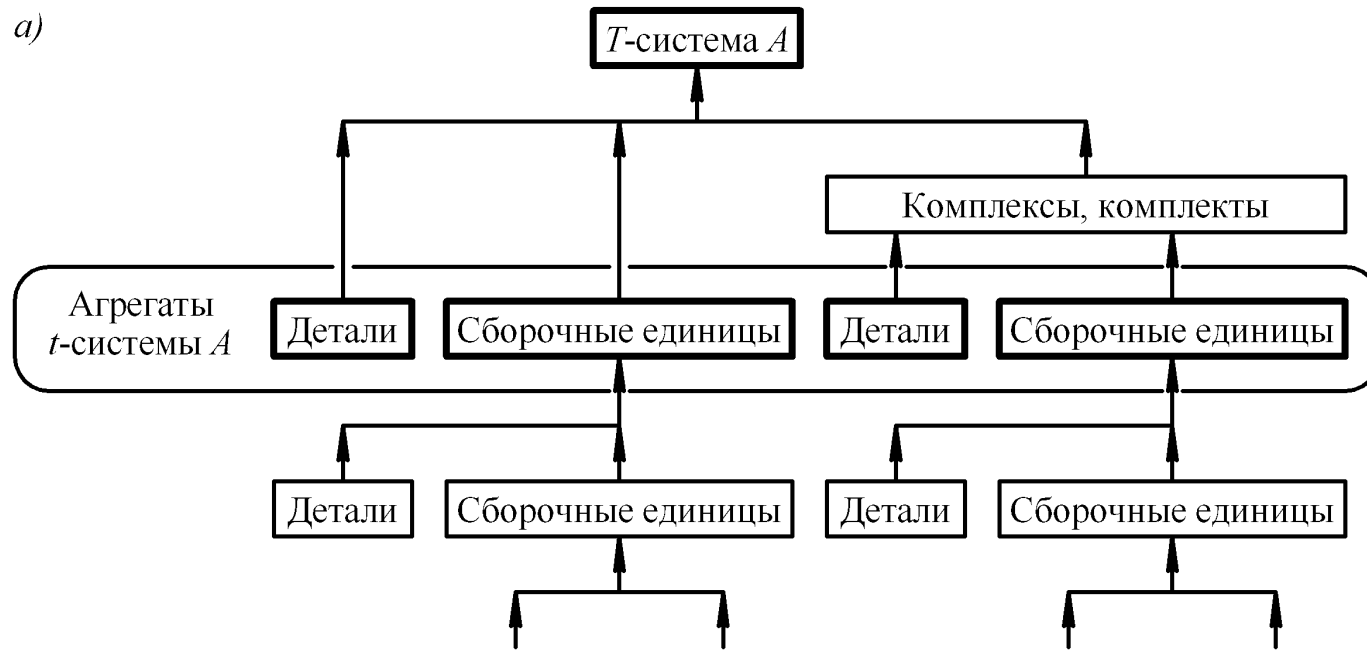


Рисунок 2 – К определению понятия «агрегат»

Метод агрегатного проектирования заключается в проектировании t -систем путем составления (комплектования) их из существующих (изготовленных или, по крайней мере, разработанных) агрегатов.

При агрегатном проектировании t -система 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. Наглядный пример применения метода агрегатного проектирования можно найти в быту. Большинство людей живет в квартирах или домах, обстановка которых спроектирована ими самими из готовых агрегатов (предметов мебели, бытовой аппаратуры и т. д.).

Зажим заземления, изображенный на рисунке 2, б, также спроектирован этим методом.

Случаи, когда t -система составляется только из существующих агрегатов, довольно редки. Чаще всего при агрегатном проектировании часть агрегатов необходимо разрабатывать специально для данной t -системы, например, как это было сделано для РЭС, изображенного на рисунке 3.

Когда новая t -система составляется только из существующих агрегатов, на нее требуется разработать только основной комплект КД, поскольку КД на агрегаты уже разработана.

Применение метода агрегатного проектирования дает возможность разрабатывать новые, модернизировать и модифицировать существующие t -системы путем применения отработанных в изготовлении и эксплуатации, а значит и надежных, унифицированных агрегатов. При этом сокращаются сроки и стоимость проектирования и изготовления t -систем, упрощается обслуживание и ремонт, появляется возможность ее переналадки для других условий использования. Если нет возможности проектировать новую t -систему только из разработанных агрегатов (применить принцип агрегатного проектирования в чистом виде), можно использовать и унифицированные агрегаты, и оригинальные, созданные специально для этой t -системы составные части.



Рисунок 3 – Групповой водородный хранитель частоты и времени Ч0-111 [20]

5.3.2 Метод модульного проектирования

В технической литературе между понятия, выражаемые терминами «агрегатное проектирование» и «модульное проектирование», часто не делается различия. Применяются даже термины «агрегатно-модульное проектирование» или «модульно-агрегатное проектирование». В книгах и статьях по конструированию РЭС модульное и агрегатное проектирование связывают и даже отождествляют с проектированием на основе так называемых базовых конструкций [21].

Модульное проектирование целесообразно рассматривать как более совершенный частный случай агрегатного проектирования. Модульные t -системы отличаются от немодульных упорядоченностью и согласованностью геометрической формы и размеров агрегатов, геометрической и размерной совместимостью и взаимозаменяемостью агрегатов, причем агрегатов не обязательно совместимых и взаимозаменяемых функционально.

При модульном проектировании агрегаты унифицируют по геометрическим параметрам (форме и размерам) так, чтобы обеспечить максимальное заполнение компоновочного пространства t -системы.

Различие между одноблочным (моноблочным), агрегатным и модульным проектированием наглядно иллюстрирует рисунок 4, на котором изображены три варианта t -системы одного назначения – ввода электропитания в переносные РЭС. Преимущества одноблочного исполнения (рисунок 4, *а*) – компактность, минимальное количество деталей и связей между ними и, соответственно, минимальная трудоемкость монтажа блока в РЭС. Его недостаток – невозможность перестройки на другие схемы и конструкции вводов электропитания.

Вариант, полученный агрегатным проектированием (рисунок 4, *б*) отличается гибкостью к изменениям. Изменяя тип и количество составных частей, можно конструировать вводы электропитания на различные номинальные токи, напряжения, классы защиты от поражения электрическим током, способы подсоединения шнура питания и другие характеристики. Недостаток – большие габариты и большая трудоемкость монтажа в РЭС.

Модульная конструкция такой t -системы (рисунок 4, *в*) 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 одноблочном исполнении.

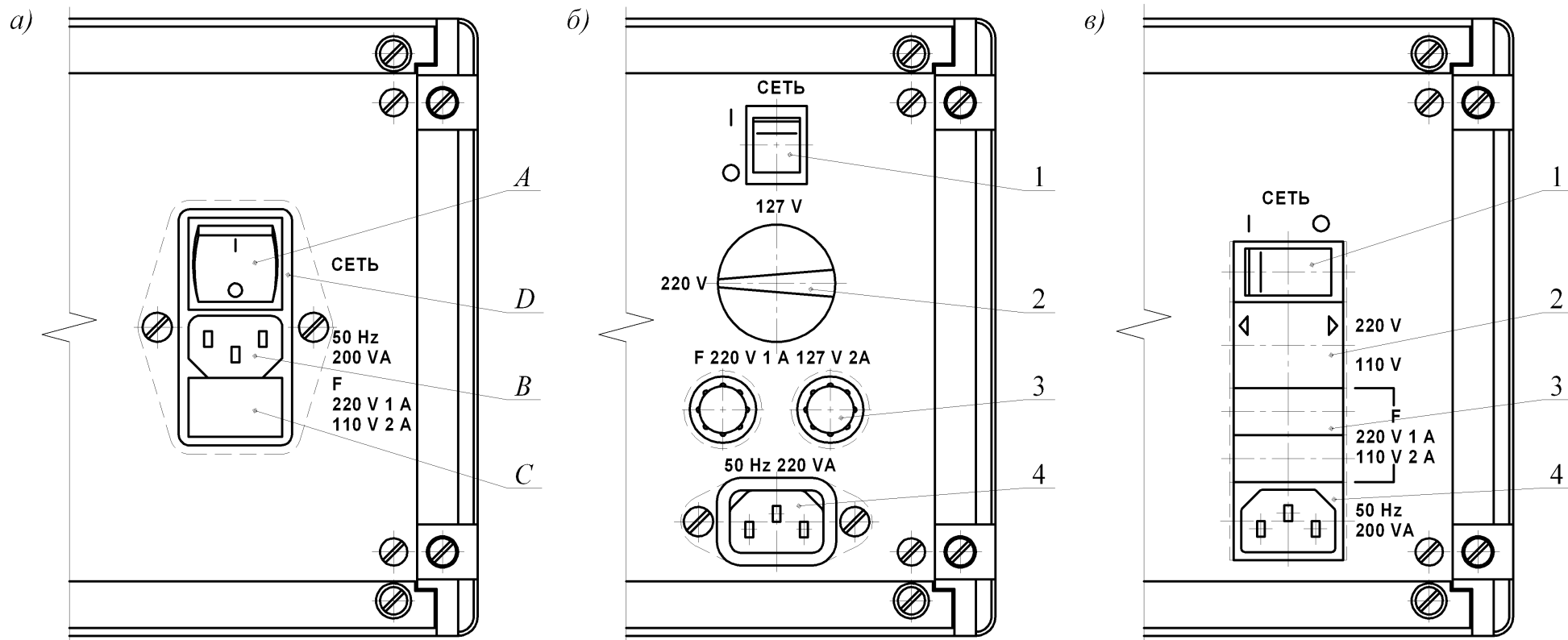


Рисунок 4 – Одноблочная (а), агрегатная (б) и модульная (в) конструкции ввода электропитания в РЭС: выключатель сетевого питания (А), вилка для подключения сетевого шнура (В), переключатель напряжения и держатель плавких вставок (С), выполненные в одном корпусе (D); 1 – выключатель сетевого питания, 2 – переключатель напряжения, 3 – держатели плавких вставок, 4 – вилка для подключения сетевого шнура

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 (рисунок 5, а) [22]; во-вторых, выбором формы и размеров агрегатов, обеспечивающих максимальное заполнение этих частей (рисунок 5, б, в); в-третьих, унифика-

цией присоединительных размеров, обеспечивающей возможность перестановки модулей в компоновочном пространстве хотя бы и без сохранения работоспособности t -системы.

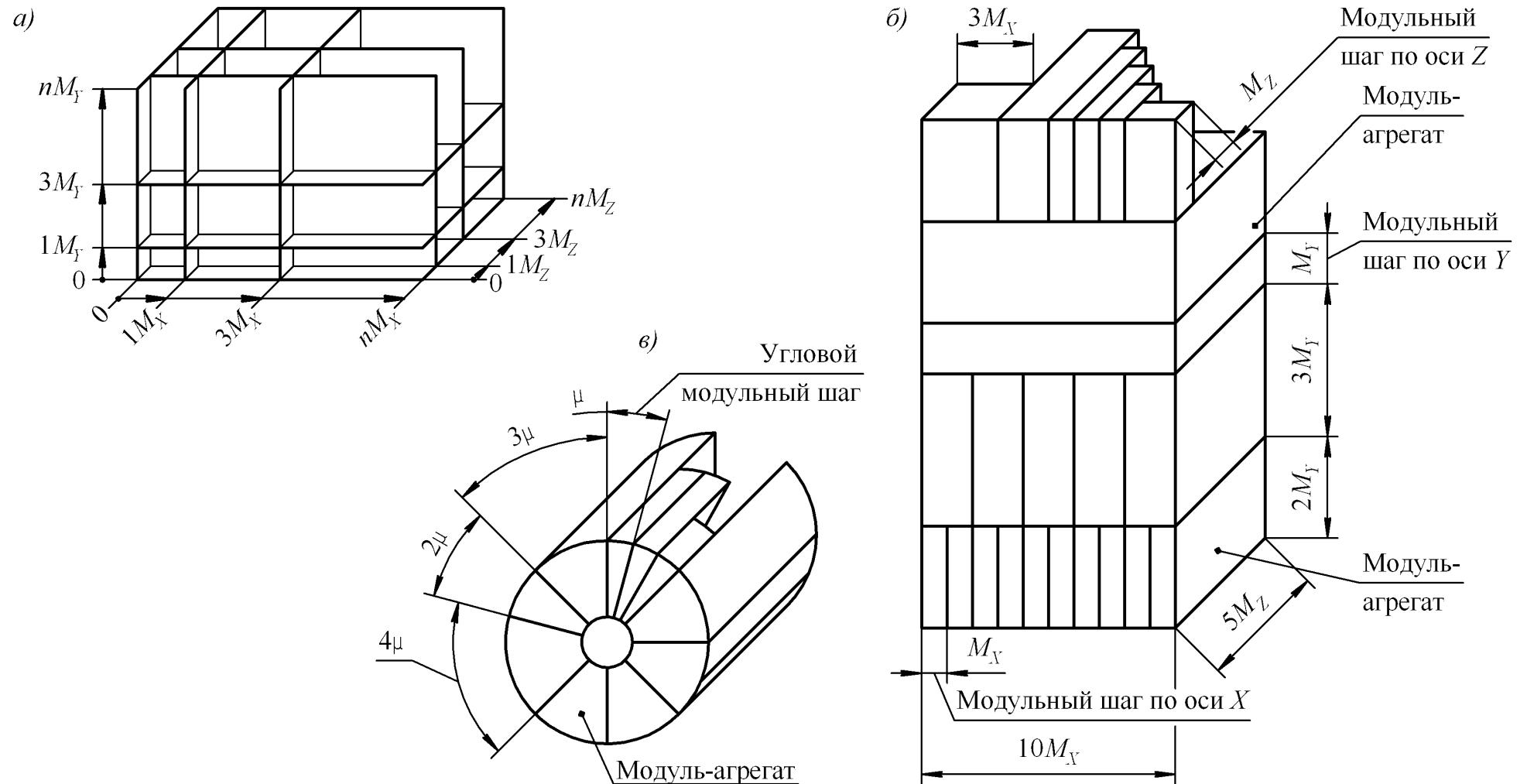


Рисунок 5 – Членение компоновочного пространства при модульном проектировании

D12 модуль-агрегат; модуль: Представитель набора агрегатов t -системы, разных по выполняемым функциям, но взаимозаменяемых по геометрической форме и размерам.

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 стандартизуется сравнительно небольшое количество типов модулей, объем их выпуска существенно возрастает и можно эффективно контролировать качество при их производстве, что увеличивает надежность модульной системы.

Модульное проектирование получило широкое распространение в радиоаппаратостроении. 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. Примеры компоновочных схем модульных наземных и морских РЭС приведены на рисунках 6. На рисунке 6, *а* приведена трехуровневая (ячейка – блок – шкаф) модульная схема РЭС. Схема на рисунке 6, *б* – двухуровневая (блок – шкаф). В стационарных РЭС, эксплуатируемых в помещениях, часто используется упрощенная схема по рисунку 6, *в*.

Размеры модулей РЭС давно являются объектом национальной и международной стандартизации. Основная задача этой стандартизации – обеспечить конструктивную совместимость модулей, разработанных и изготовленных на разных предприятиях в разных странах. Наиболее совершенной является 19-дюймовая размерная система модулей РЭС (рисунок 7, *а*), применяемая в мире с двадцатых годов прошлого столетия [23] и узаконенная в России стандартами [24]. Основные размеры в этой системе (рисунок 7, *б*): номинальное расстояние между крепежными отверстиями по ширине $A=465,1$ мм; ширина проема шкафа $B>450$ мм, номинальная ширина панели блока $C=19" = 482,6$ мм, высоты блочных корпусов в миллиметрах определяются по формуле $h = (h_0 - 0,8) = (nU - 0,8)$, где $U = 44,45$ мм, $n = 1, 2, 3 \dots$.

В настоящее время 19-дюймовая система является наиболее совершенной из всех аналогичных размерных систем. Строгое соблюдение ее требований гарантирует высокую степень конструктивной совместимости РЭС.

В России сейчас применяются еще несколько размерных систем, аналогичных по назначению 19-дюймовой системе. Некоторое количество РЭС до настоящего времени изготавливается с размерами, которые были установлены давно отменным ГОСТ 12863 – 67 «Аппаратура радиоэлектронная. Основные размеры блоков». По этому стандарту номинальное расстояние между крепежными отверстиями $A=500$ мм; ширина проема шкафа $B=488$ мм, ширина панели блока $C=520$ мм, размеры блочных корпусов по высоте h_0 выбираются из ряда 80, 120, ..., $40n$ мм ($n=3, 4, \dots$). Недостаток этой размерной системы – блочные корпуса, имеющие ширину $D=480$ мм, нельзя установить в стойку распространенной за

рубежом и в России 19-дюймовой системы.

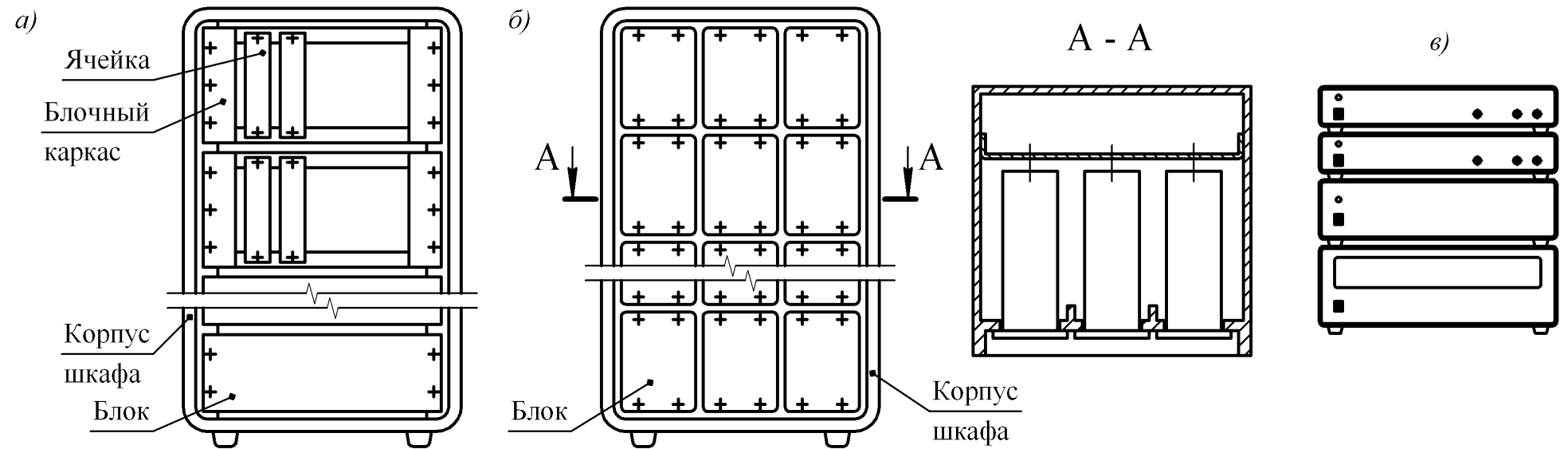


Рисунок 6 – Примеры компоновочных схем модульных РЭС

В технических средствах магистрально-модульной системы по типу VХI [25] применены обе рассмотренные системы размеров: сопряжения модулей 1-го (или просто модулей по каталогу [25]) и 2-го уровней (базовых блоков по каталогу) соответствует требованиям 19-дюймовой системы; сопряжение модулей 2-го уровня с модулями 3-го (шкафами, стойками) выполнено по ГОСТ 12863 – 67.

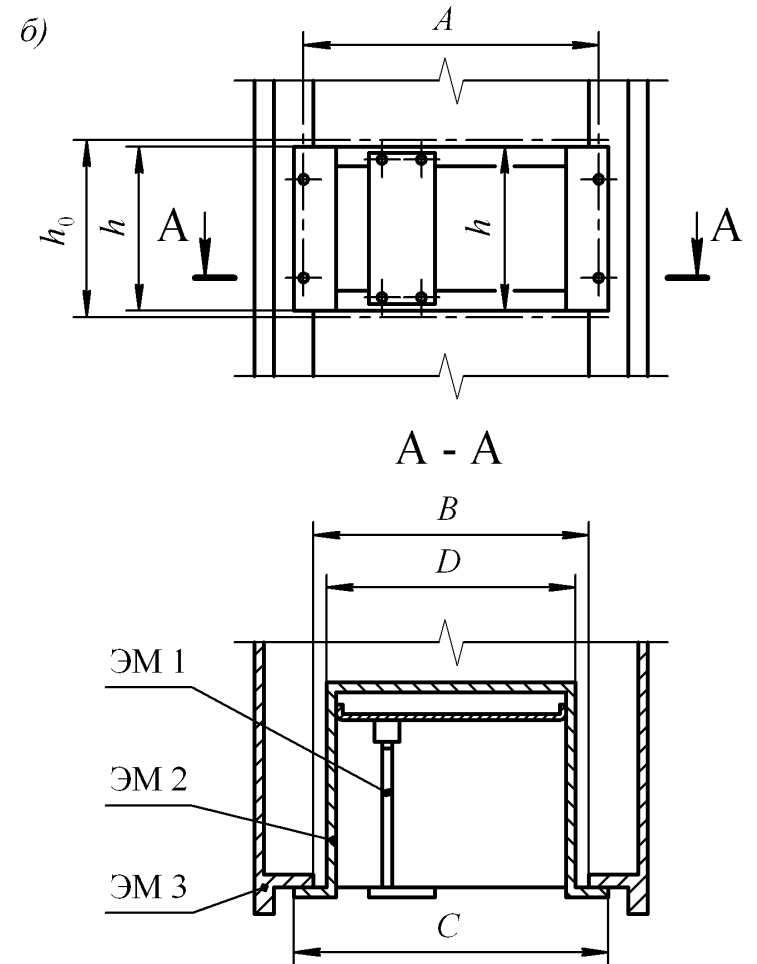
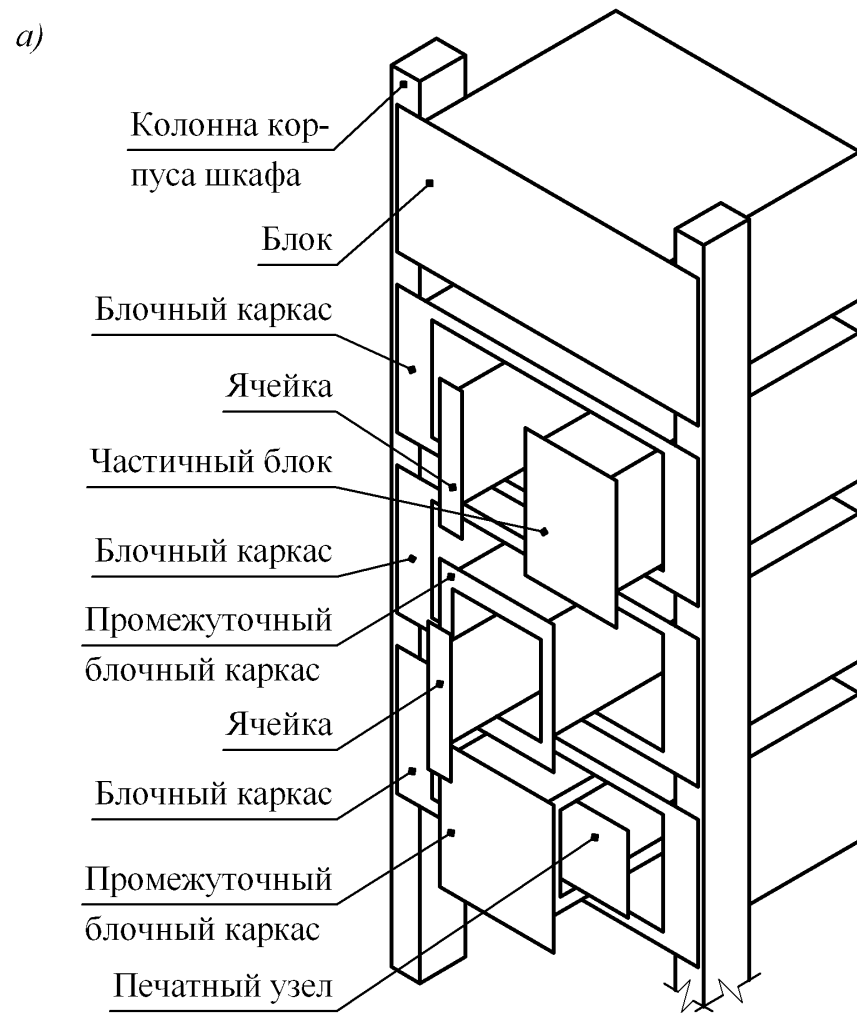


Рисунок 7 – Стандартизованные компоновочные схемы модульных РЭС

Размерная система по ГОСТ 12863 – 67 (и другим стандартам, разрабатывавшимся взамен его) считается устаревшей и давно отменена. В конце восьмидесятых – начале девяностых годов прошлого столетия разработана новая между-

народная система размеров [26]. В девяностые годы эта система пропагандировалась как перспективная замена и российских отраслевых систем и международной 19-дюймовой системы. В новой системе возможны две системы размеров, близких по назначению 19-дюймовой системе (по аналогии с 19-дюймовой системой новые системы обозначаются по ширине панели):

485-миллиметровая система с основными размерами: ширина проема шкафа $B=450$ мм, ширина панели стоечного блока $C=485$ мм, ширина блочного корпуса $D<450$ мм, размеры блочных корпусов по высоте h_0 из ряда $25n$ мм;

535-миллиметровая система с основными размерами: ширина проема шкафа $B=500$ мм, ширина панели стоечного блока $C=535$ мм, ширина блочного корпуса $D<500$ мм, размеры блочных корпусов по высоте h_0 из ряда $25n$ мм.

Судя по рекламным материалам, за двадцать пять лет своего существования новая система не получила сколь-нибудь заметного применения.

Есть стандарты и на терминологию, относящуюся к модульному проектированию РЭС. К сожалению, в стандарте [27], устанавливающем терминологию в этой области, допущены логические ошибки. Например, ошибку, которую в логике называют порочным кругом – в определяющем выражении к понятию «модульное исполнение РЭС» использовано 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, стандарт 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.

D13 электронный модуль: Модуль-агрегат РЭС, в основу функционирования которого положены принципы радиотехники и электроники.

В стандарте [27] электронные модули делятся на модули первого, второго и третьего уровня (ЭМ1, ЭМ2, ЭМ3).

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 мо-

дулях или две функциональные части – в трех модулях. В радиоаппаратостроении модули, не обладающие свойством функциональной законченности, иногда встречаются. Функциональная законченность является желательным, но совсем не обязательным свойством модуля.

Вариантом модульного проектирования является метод секционирования, описанный в справочно-методическом пособии [5]. Секционирование применяется в частности при проектировании переключателей (рисунок 8, *а* и 8, *б*).

Секция может быть не только изделием. В электрическом соединителе, изображенном на рисунке 9, *в*, секция – элемент, состоящий из двух контактных пар (гнезда розетки и контакта печатной вилки) и поверхностей изоляционных корпусов вилки и розетки, в которых закреплены гнезда розетки. Из этих секций можно спроектировать соединитель с любым количеством контактных пар. Максимальное количество секций ограничивается прочностью корпусов, усилием сочленения-расчленения соединителя и погрешностью изготовления большого количества сопрягаемых элементов.

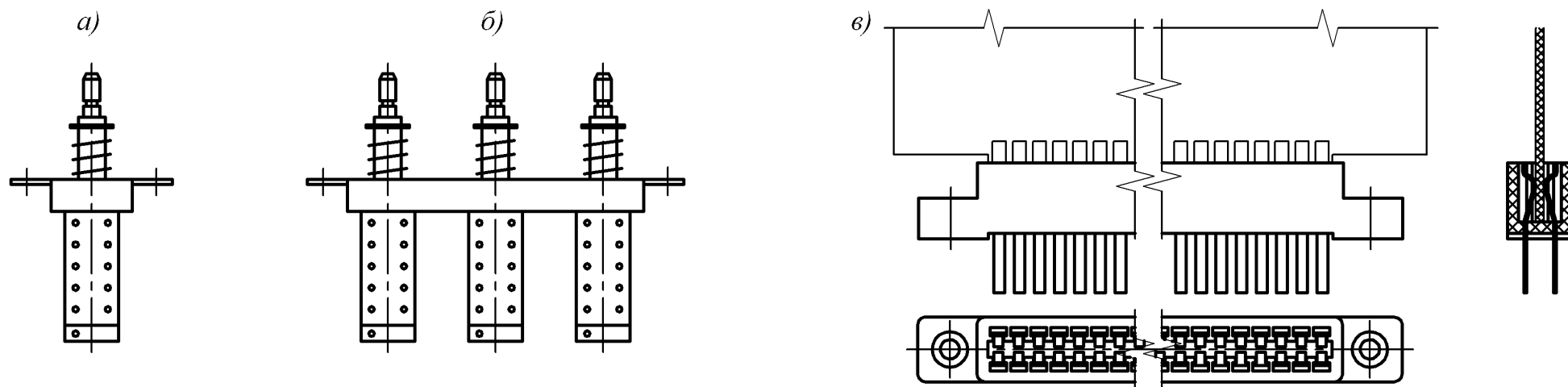


Рисунок 8 – Изделия, спроектированные методом секционирования

Лекция 5.4 МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПО ПРОТОТИПУ. МЕТОД ГРУППОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

D14 прототип: Наиболее близкий по основным характеристикам (функциональному назначению, конструкции, производственным и другим данным) аналог разрабатываемой t -системы, основные составные части и/или конструктивные решения которого используются в разрабатываемой t -системе.

Метод проектирования по прототипу (метод прототипа) заключается в использовании в новой t -системе хорошо зарекомендовавших себя составных частей и/или конструктивных решений существующих t -систем. При модифицировании, модернизации и совершенствовании t -систем этот метод является основным. При разработке принципиально новых t -систем этот принцип тоже широко используется:

при проектировании тех составных частей новой t -системы, у которых имеются прототипы;

при совершенствовании на последующих стадиях работы удачных конструктивных решений и составных частей, созданных на начальных стадиях.

Прототипом проектируемой t -системы может быть некоторая существующая t -система целиком или часть существующей t -системы. В некоторых случаях прототипом могут служить несколько t -систем.

Существуют два варианта метода проектирования по прототипу [9]. При первом методе в проектируемой t -системе применяются составные части прототипа, т. е. материальные объекты. Такой прототип в лекциях обозначается символом-словом « i -прототип». I -прототип обеспечивает разработку новой t -системы за счет дополнительного присоединения, снятия, замены или изменения пространственного сочетания различных составных частей. I -прототип в целом или его основные части включаются в спецификацию новой t -системы как примененные изделия и изготавливаются по своему комплексу конструкторских документов. Например, так спроектировано изделие 2, I -прототипом которого послужило изделие 1 (рисунок 9).

При втором варианте методе из прототипа в проектируемой t -системе применяются конструктивные решения, составляющие конструкцию t -системы-прототипа (k -прототипа), т. е. нематериальные объекты. K -прототип определяет количественные и качественные характеристики новой t -системы относительно размеров, форм, материалов, составных частей и их соединений между собой. КД, содержащая информацию о k -прототипе, используется не для изготовления по ней изделий, а как образец для разработки КД новой t -системы, по которой последняя и должна изготавливаться. Пример – изделие 3, k -прототипом для которого послужила конструкция изделия 1 (рисунок 9).

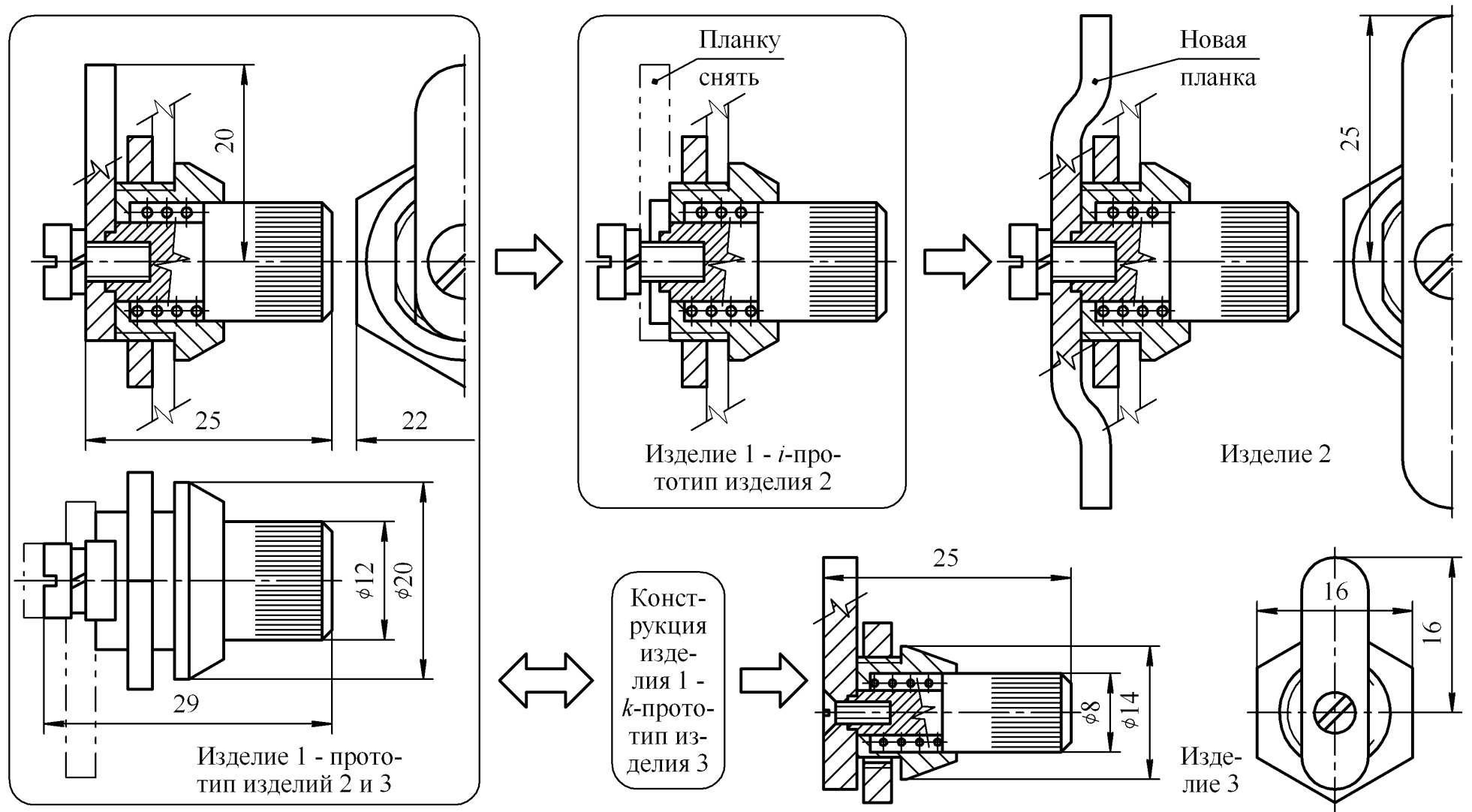


Рисунок 9 – Два варианта использования метода прототипа

Тройник для подключения пробника высокочастотного вольтметра к коаксиальному волноводу по рисунку 10 – прототип тройников по рисункам 11 и 12 [28].

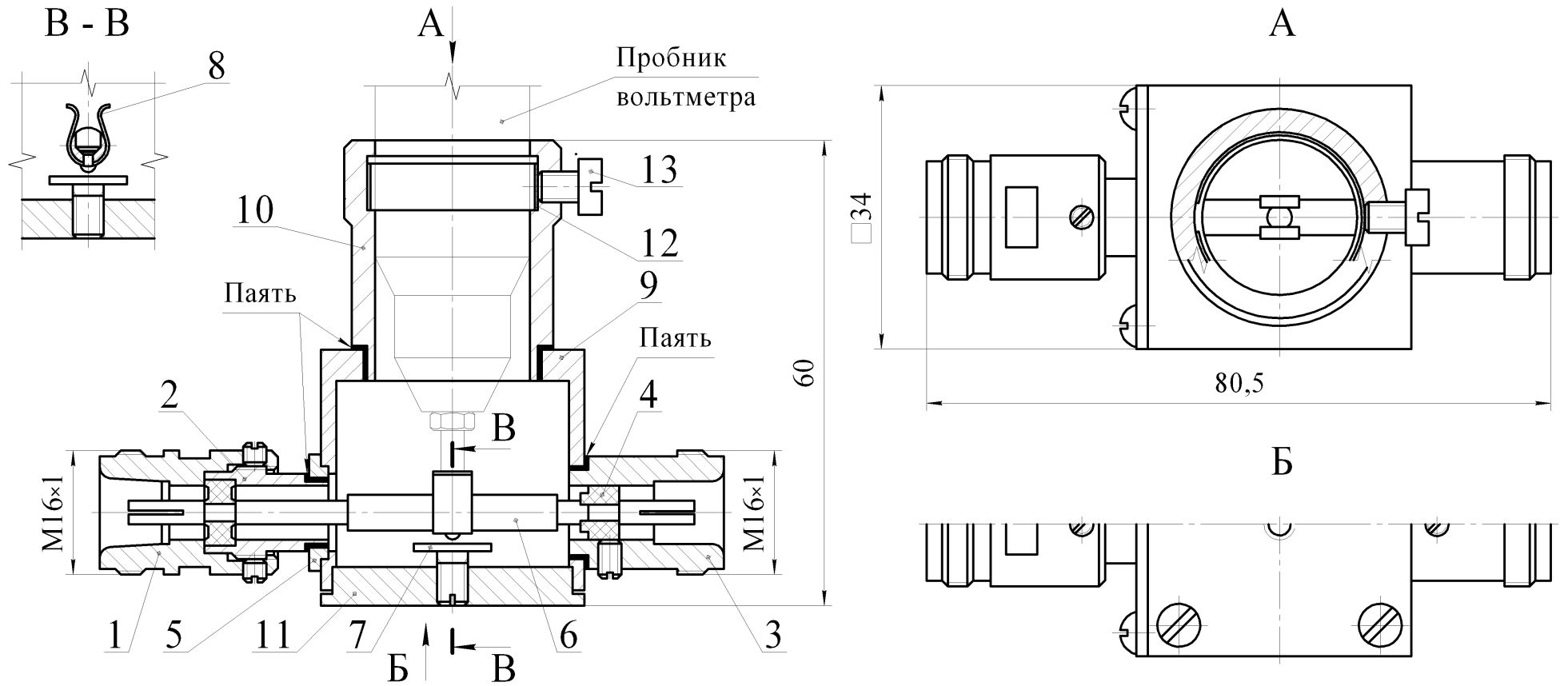


Рисунок 10 – Тройник – *k*-прототип для тройника на рисунке 11: 1 – розетка, 2, 3 – втулки; 4 – шайба; 5 – фланец; 6 – стержень; 7 – винт; 8 – контакт; 9 – корпус; 10 – втулка; 11 – крышка; 12 – пружина; 13 – винт

Тройник по рисунку 11 – это модернизированный тройник по рисунку 10, предназначенный для замены последнего. Тройник по рисунку 11 в свою очередь послужил прототипом для тройника по рисунку 12. Тройник по рисунку 12 – модификация тройника по рисунку 11. Два этих тройника образуют семейство и используются оба.

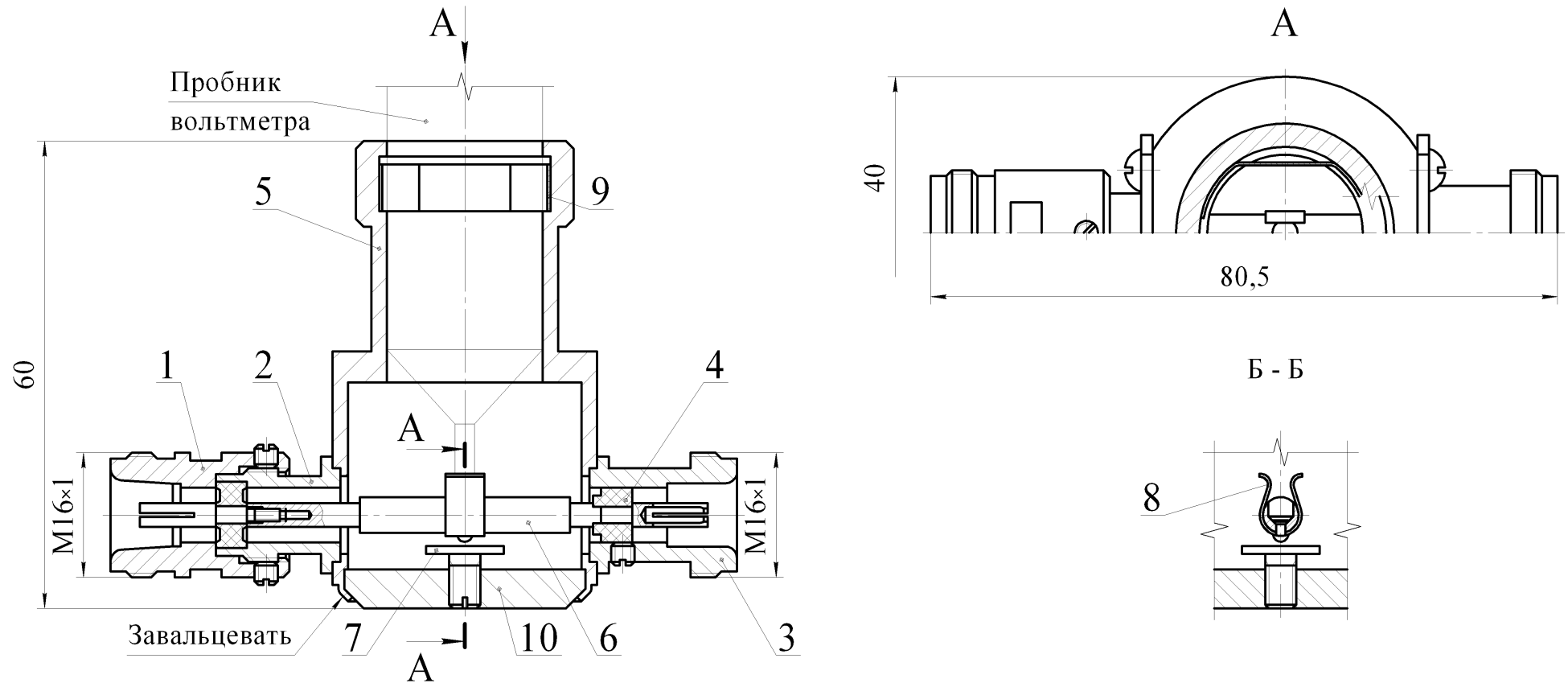


Рисунок 11 – Тройник, полученный модернизацией тройника по 10 и представляющий собой *i*-прототип для тройника по рисунку 11:

1 – розетка; 2, 3 – втулки; 4 – шайба; 5 – корпус; 6 – стержень; 7 – винт; 8 – контакт; 9 – пружина; 10 – крышка

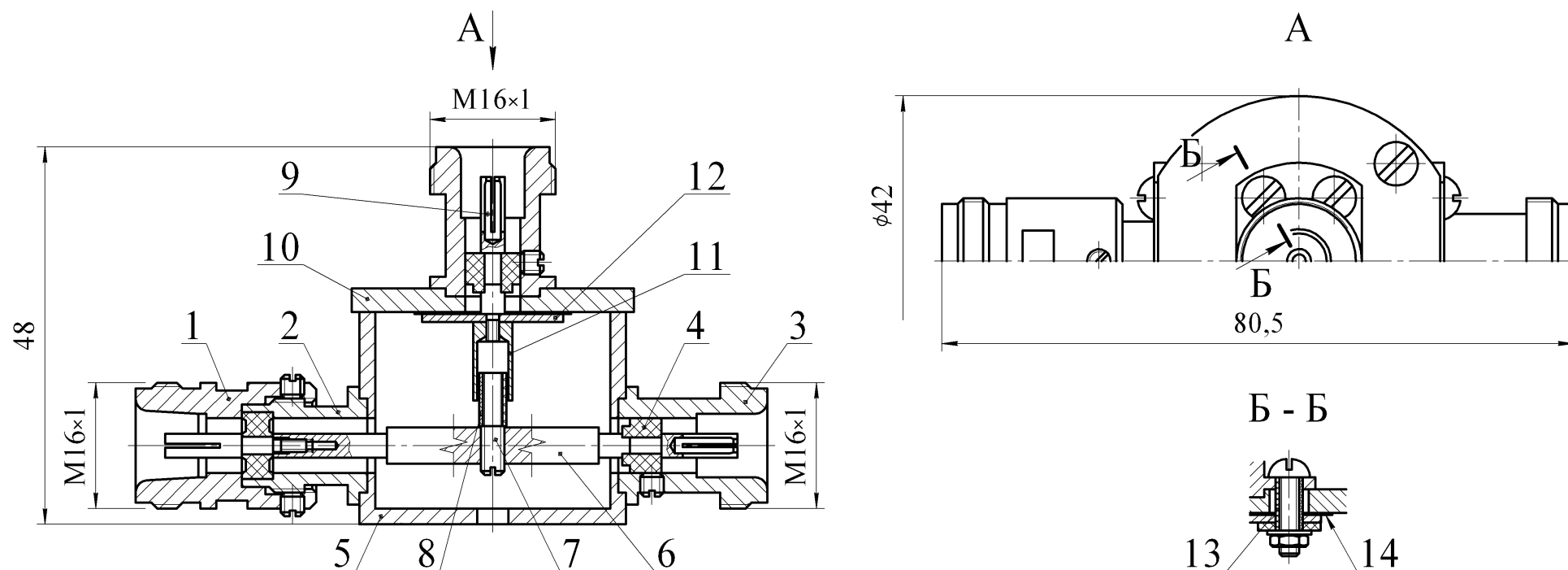


Рисунок 12 – Тройник – модификация тройника по рисунку 11:
 1 – розетка; 2, 3 – втулки; 4 – шайба; 5 – корпус; 6 – стержень; 7 – винт; 8 – изолятор;
 9 – контакт; 10 – крышка; 11 – втулка; 12 – шайба; 13, 14 – изоляторы

В качестве прототипа разрабатываемой *t*-системы конструктор в процессе проектирования может выбрать любой подходящий аналог. Но в ряде случаев *t*-система-прототип конструктору задается. Такие прототипы называются базовыми или типовыми изделиями, базовыми или типовыми конструкциями. В радиоаппаратостроении при проектировании несущих систем РЭС широко применяются прототипы, называемые – базовыми несущими конструкциями (БНК) [29], унифицированными или универсальными типовыми конструкциями (УТК) [30, 31], типовыми несущими конструкциями (ТНК) [32]. Слово «конструкция» в этих терминах обозначает материальный объект. В лекциях слово «конструкция» в таком значении использовать нельзя. Вместо этих терминов в лекциях используются следующие.

D15 типовое изделие: Прототип, основные составные части которого обязательны для применения при разработке некоторой совокупности (семейства, ряда) *t*-систем.

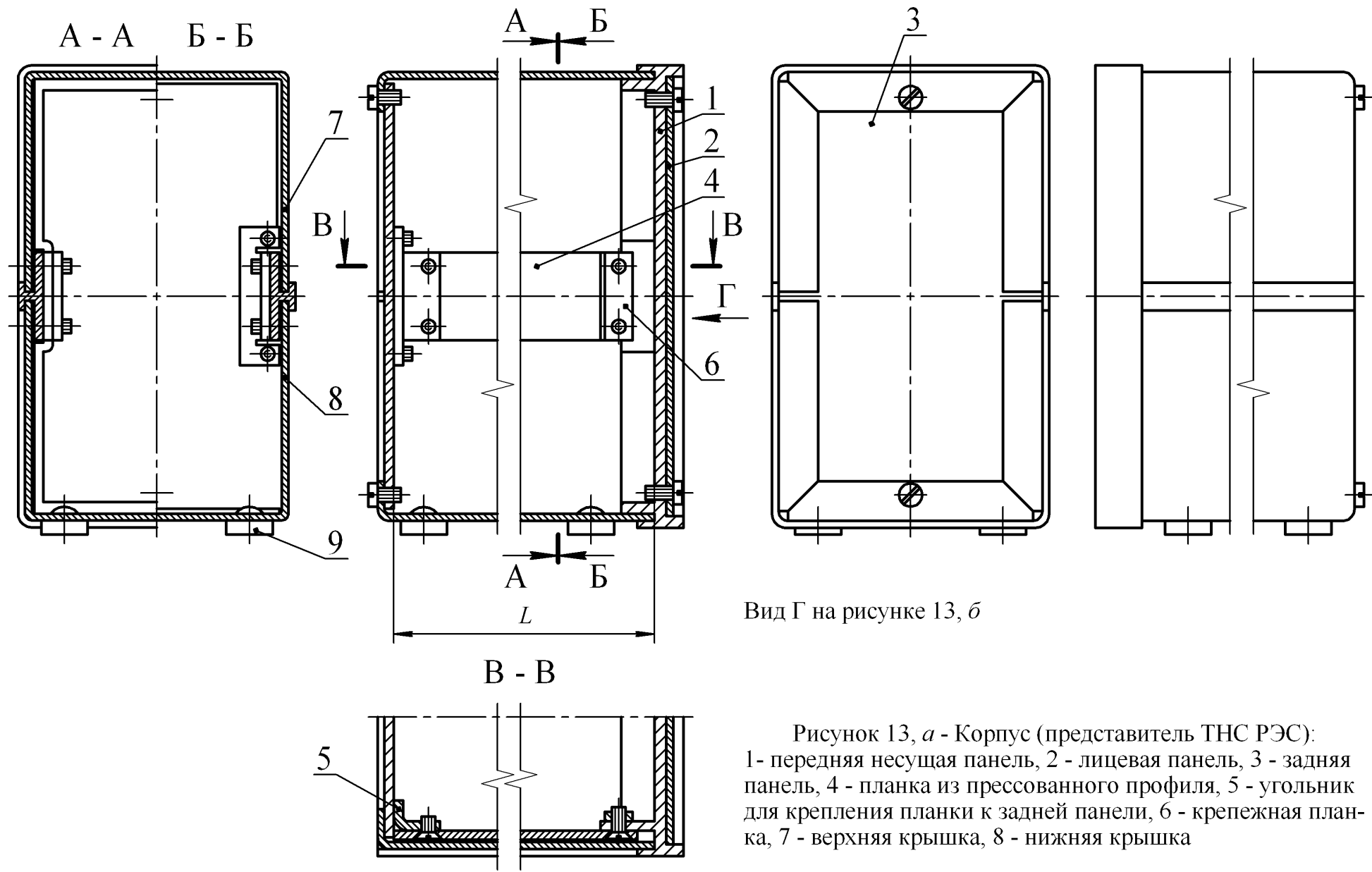
D16 типовая конструкция: Конструкция прототипа, основные конструктивные решения которого обязательны для применения при разработке некоторой совокупности (семейства, ряда) *t*-систем. Обязательность использования составных частей (конструктивных решений) – признак, по которому типовое изделие (типовую конструкцию) отличают от других прототипов.

D17 ТНС РЭС; ТНС: Система типовых несущих изделий и/или типовых конструкций несущих систем РЭС.

Обычно ТНС РЭС представляют собой размерные ряды корпусов для ячеек, блоков, шкафов, пультов и т. д., предназначенных для размещения РЭС различного назначения и размеров.

Пример конструкции блочного корпуса, предназначенного для компонования малогабаритных РЭС, приведен на рисунке 13.

Детали 2 – 4 корпуса обычно используются как заготовки, дорабатываемые при применении. На панелях 2, 3 выполняются отверстия для органов индикации, управления и подключения, предусмотренных электрической схемой РЭС, которое компоуется в корпусе, на планке 4 выполняются отверстия для крепления агрегатов РЭС, располагаемых внутри корпуса.



Вид Г на рисунке 13, б

Рисунок 13, а - Корпус (представитель ТНС РЭС):
 1 - передняя несущая панель, 2 - лицевая панель, 3 - задняя панель, 4 - планка из прессованного профиля, 5 - угольник для крепления планки к задней панели, 6 - крепежная планка, 7 - верхняя крышка, 8 - нижняя крышка

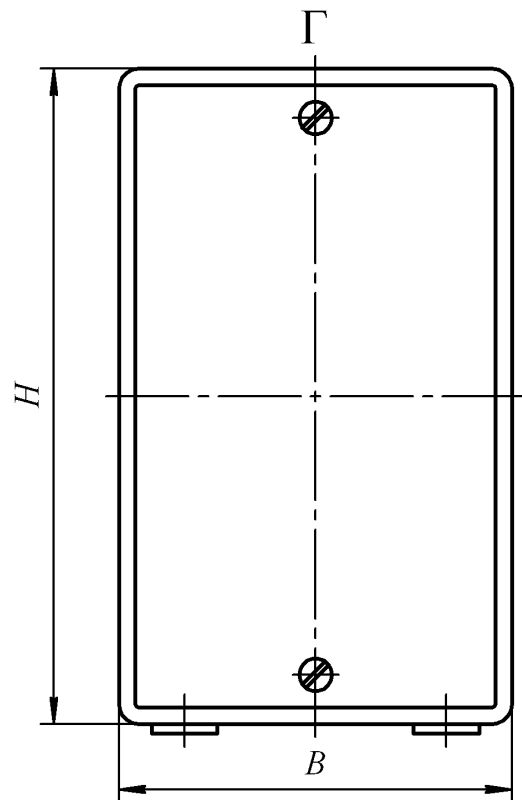


Рисунок 13, б – Корпус (представитель ТНС РЭС)

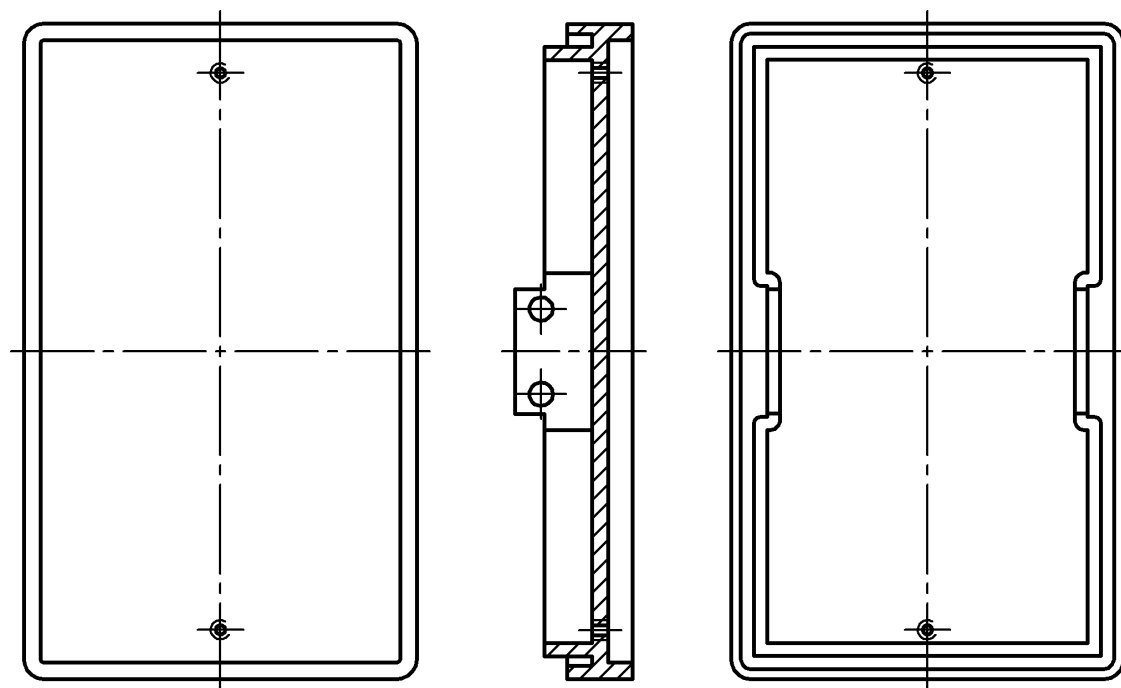


Рисунок 14 – Конструкция передней несущей панели корпуса по рисунку 13

Переднюю несущую панель этого корпуса (рисунок 14) при проектировании модификаций можно использовать двумя способами [33]. При первом способе панель отливается под давлением и используется как изделие-заготовка при изготовлении различных модификаций панелей конкретных РЭС. На ней выполняются отверстия для органов управления и т. д. (рисунок 15, а, в).

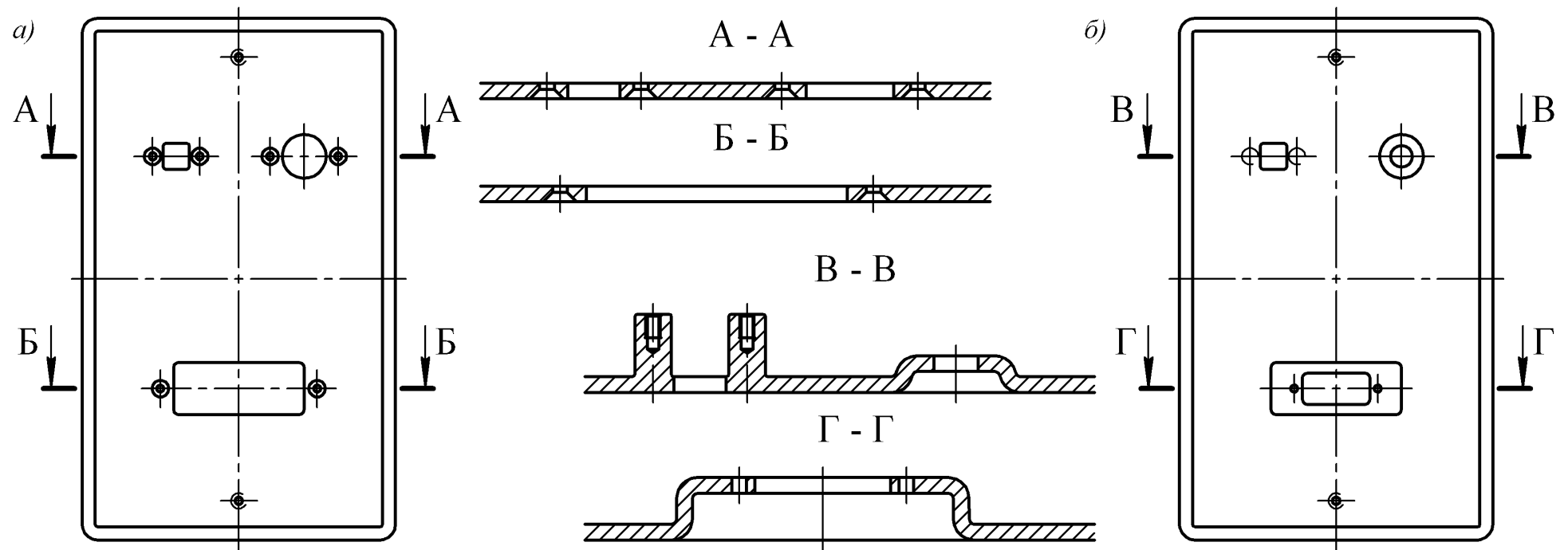


Рисунок 15 – Два способа использования панели корпуса по рисунку 13 при проектировании модификаций корпуса

При втором способе конструкция панели по рисунку 14 используется как *k*-прототип при разработке конструкции панели для конкретного РЭС. В этой панели предусматриваются конструктивные элементы органов управления, которые отливаются вместе с панелью (рисунке 15, б, з). В этом случае дополнительных деталей для установки органов управления и индикации на панель требуется значительно меньше (рисунок 16, б).

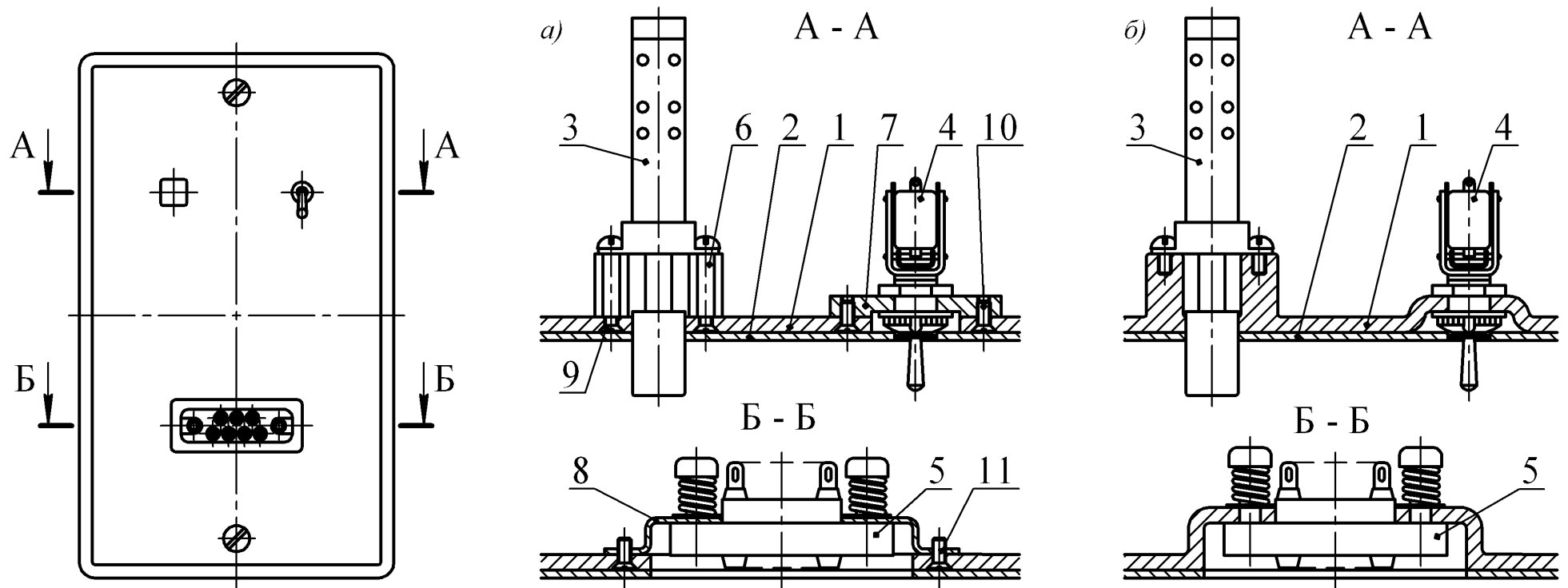


Рисунок 16 – Установка органов управления на панель РЭС: 1 – несущая панель; 2 – лицевая панель;
3 – 5 – органы управления; 6 – 11 – установочные и крепежные детали

При втором способе использования типовой панели корпуса для каждого типа РЭС (для каждой разновидности несущей панели) необходимо проектировать и изготавливать дорогую специальную литейную форму. Поэтому второй способ целесообразно применять при проектировании РЭС, изготовление которых планируется большими сериями, когда затраты на изготовление литейных форм окупаются, так как значительно сокращается трудоемкость сборочных работ за счет уменьшения количества разъемных соединений. При проектировании РЭС, выпуск которых планируется небольшими сериями, предпочтительнее использование типовых панелей по первому способу.

Использование типовых изделий, являющееся одним из методов унификации, позволяет максимально унифицировать в разрабатываемых изделиях основные (в том числе сложные) сборочные единицы и детали, тогда как при унификации заимствованием отдельных составных частей легче унифицируются относительно мелкие составные части.

Типовые конструкции в отличие от типовых изделий не являются материальными объектами, и их применение не повышает стандартные показатели уровня унификации. Но использование в новой конструкции уже продуманных и испытанных конструктивных решений сокращает время, необходимое для проектирования, уменьшает вероятность ошибок и повышает надежность нового изделия.

Проектирование на основе типовых изделий и типовых конструкций применяется во многих отраслях промышленности, например, в автомобилестроении (рисунок 17).

Для иллюстрации метода проектирования с использованием типовой конструкции в качестве примера рассмотрим возможную процедуру проектирования размерно-подобного ряда поршневых двигателей (рисунок 18) [5]. Сначала проектируется и доводится до производства один представитель этого ряда двигателей (например, изображенный на рисунке 18, *а*). Если конструкция этого двигателя получилась удачной, конструкции других представителей ряда получают изменением геометрических размеров при соблюдении подобия, как геометрических размеров, так и рабочих процессов. Конструкция двигателя, изображенного на рисунке 18, *а* является в этом случае типовой для конструкций двигателей, изображенных на рисунке 18, *б – г*. При проектировании двигателей использовалась разновидность метода прототипа, которая в [5] называется методом изменения линейных размеров.

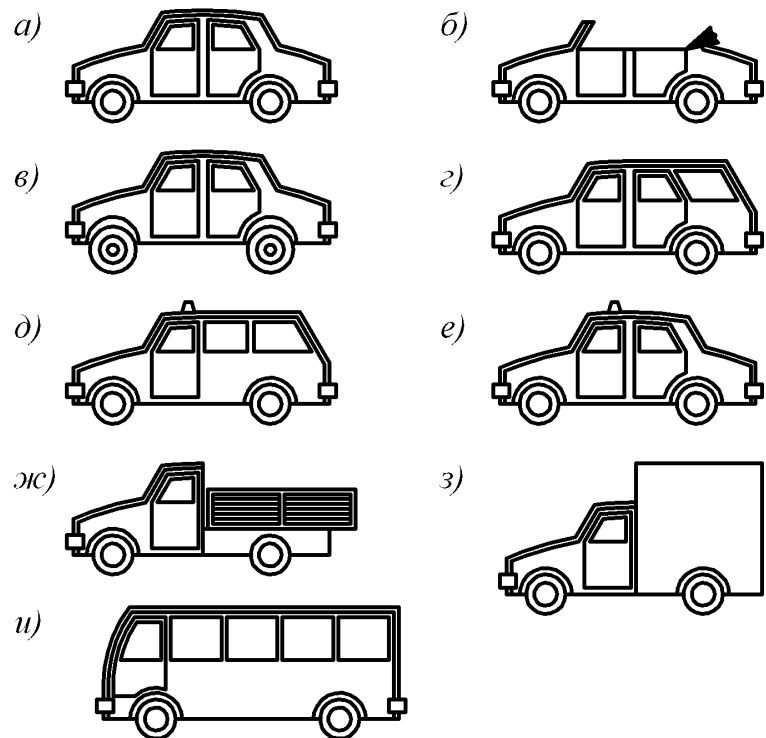


Рисунок 17 – Типовая модель автомобиля (а) и ее модификации (б – и)

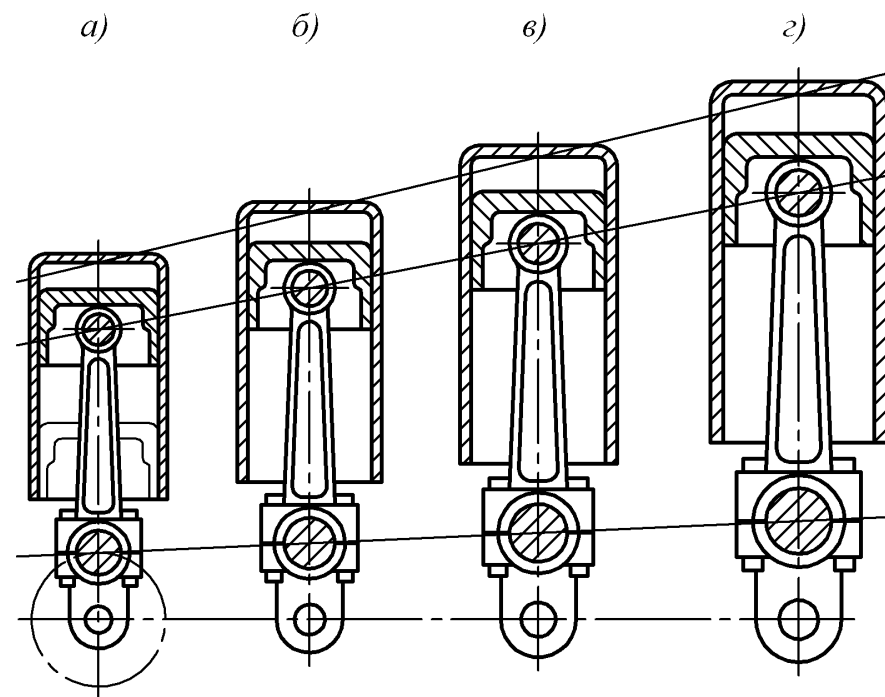


Рисунок 18 – Семейство двигателей спроектированных на основе типовой конструкции

Другая разновидность метода прототипа – метод базового агрегата, также описанный в пособии [5].

D18 базовый агрегат: Агрегат t -системы, с которого начинают сборку (монтаж) t -системы, присоединяя к нему другие ее агрегаты.

Применение метода базового агрегата в автомобилестроении иллюстрирует рисунок 19. Базовый агрегат – автомобильное шасси (рисунок 19, *а*). Различные типы автомобилей специального назначения (рисунок 19, *б – ж*) получают присоединением к шасси специальных агрегатов.

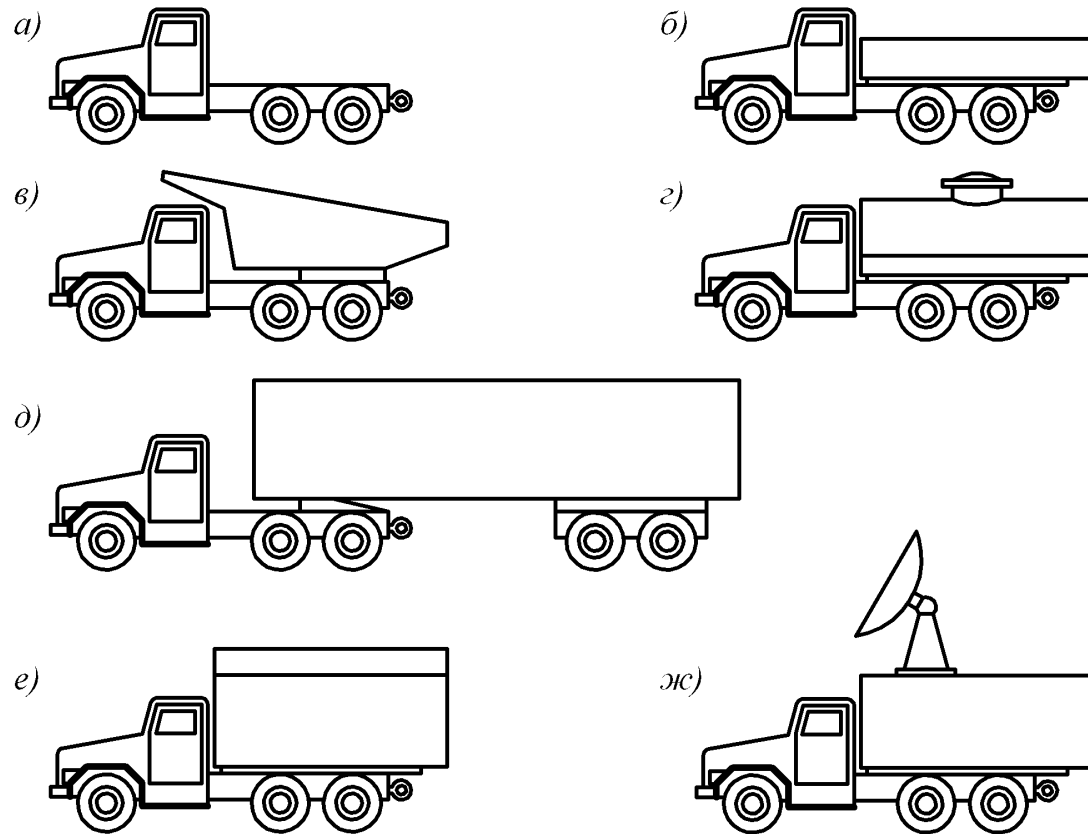


Рисунок 19 – Метод базового агрегата в автомобилестроении

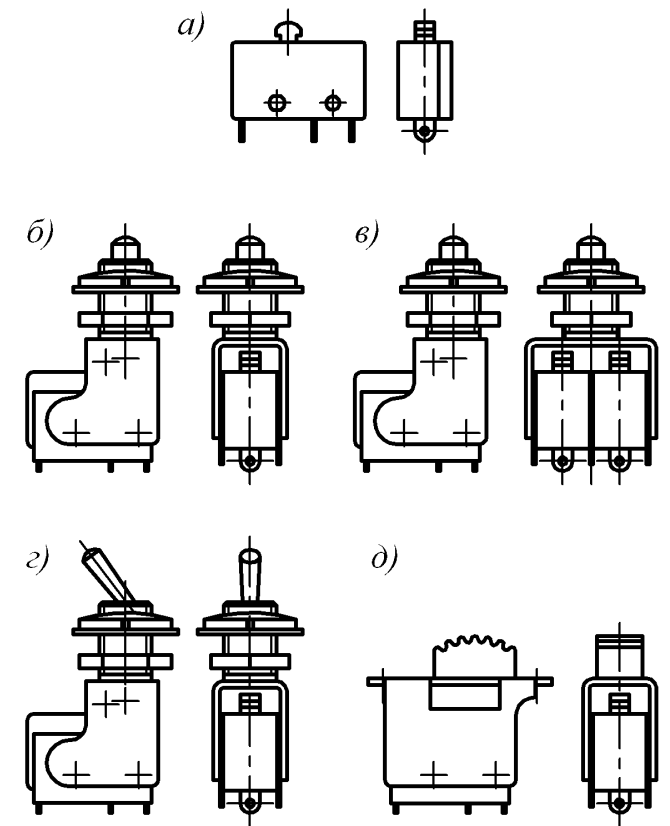


Рисунок 20 – Семейство переключателей, спроектированных методом базового агрегата

Пример использования метода базового агрегата в радиоаппаратостроении приведен на рисунке 20. Базовый агрегат – микрокнопка по рисунку 20, *a* преобразуется в различные виды переключателей (рисунок 20, *б – д*) присоединением дополнительных деталей.

Метод группового проектирования (групповой метод) заключается в одновременном (параллельном) проектировании нескольких взаимно унифицированных *t*-систем. В книге [3] этот метод называется методом серийного (или модульного) проектирования. Метод группового проектирования имеет много общего с методом проектирования по прототипу. На практике групповое проектирование осуществляется в следующей последовательности [32]:

- 1) выбирают типовой представитель проектируемого конструктивно-унифицированного ряда изделий;
- 2) проектируют типовой представитель;
- 3) используя типовой представитель как прототип, проектируют конструкции других представителей ряда; при необходимости в конструкцию типового представителя вносят изменения;
- 4) после проектирования и оценки конструкций всех представителей ряда разрабатывается КД для изготовления.

На рисунке 21 изображены ручки управления, спроектированные этим методом. Изображенные ручки являются представителями типоразмерных рядов, включающих в себя большое количество типоразмеров, отличающихся *d*, *D*, *L*, способами крепления ручек на осях и цветом пластмассовых корпусов.

В отличие от метода проектирования по прототипу, когда конструкцию прототипа изменять нельзя или, по крайней мере, сложно, поскольку прототип представляет собой разработанную и нередко серийно выпускаемую *t*-систему, при групповом проектировании есть возможность после предварительного проектирования всех представителей ряда вносить изменения в конструкцию типового представителя. Групповое проектирование позволяет добиться наиболее оптимальной взаимной унификации разрабатываемого ряда *t*-систем.

Недостатком метода является возможность использования лишь при создании относительно несложных *t*-систем. Даже у больших разрабатывающих организаций для параллельного проектирования нескольких сложных *t*-систем может не хватить ресурсов.

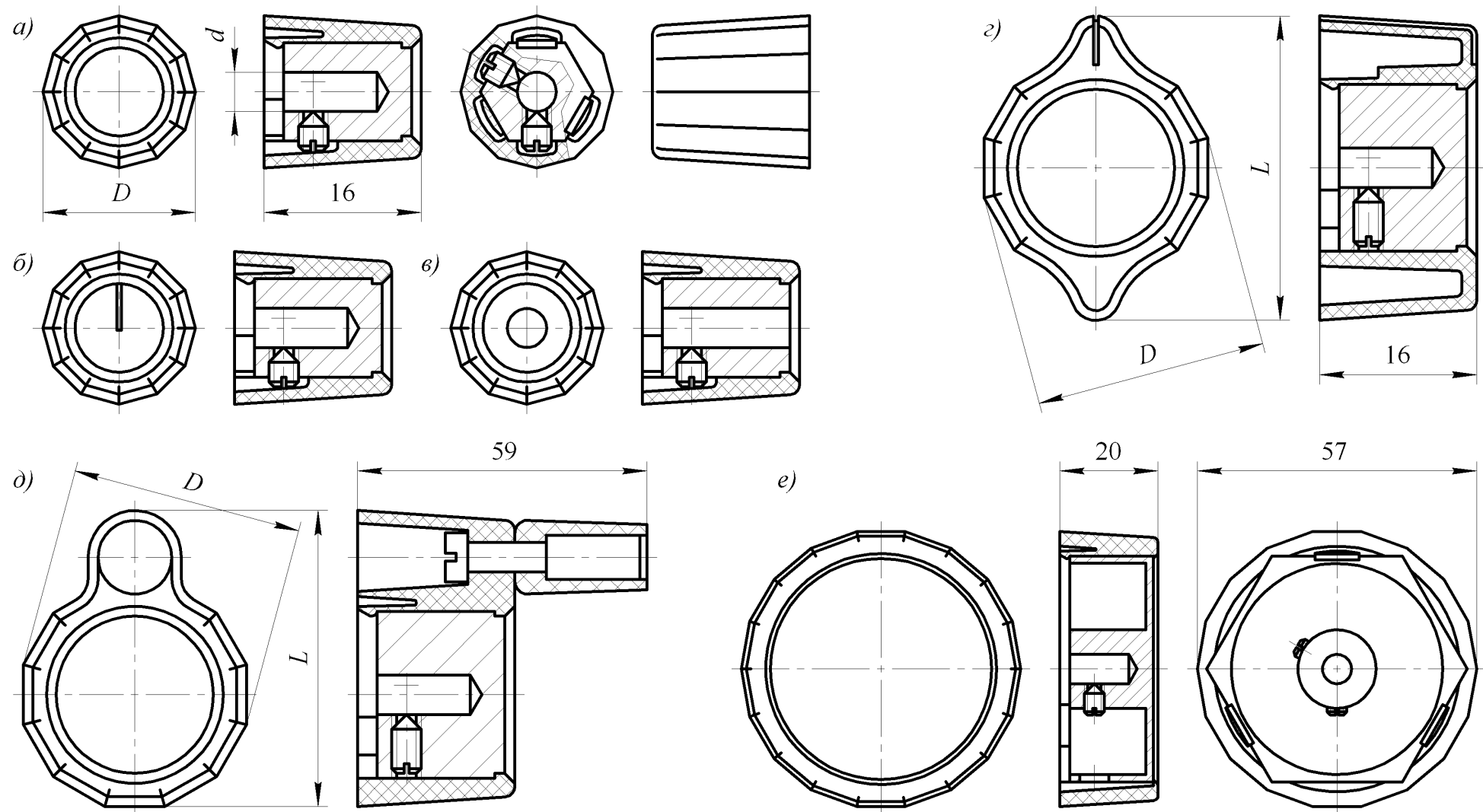


Рисунок 21 – Представители семейства ручек управления, спроектированных групповым методом

Список использованных источников

- 1 Дж. де С. Коутиньо. Управление разработками перспективных систем / Пер. с англ. М., 1982.
2. Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов: учеб. пособие для вузов. Л., 1982.
3. Грейнер Л. К. Основы методологии проектирования электрических аппаратов. (Из опыта конструирования и расчета аппаратов высокого напряжения). М.-Л., 1963.
4. Базовый принцип конструирования РЭА / под ред. Е. М. Парфенова. М., 1981.
5. Орлов П. И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1. М., 1988.
6. Сиверцев И. Н. Расчет и проектирование судовых конструкций (суда металлические). М., 1968.
7. Харинский А. Л. Основы конструирования элементов радиоаппаратуры. Л., 1971.
8. Литвин Ф. Л. Проектирование механизмов и деталей приборов. Л., 1973.
9. Бобков Н. М. Систематизация терминологии в области конструирования радиоэлектронных систем // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева / НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2014. № 3 (105).
10. Парфенов Е. М., Чанцев В. В. Электромеханические устройства РЭА. М., 1972.
11. Зеленев Л. А., Владимиров А. А., Щуров В. А. История и философия науки: учеб. пособие. М., 2008.
12. ГОСТ 1.1 – 2002 Межгосударственная система стандартизации. Термины и определения.
13. ГОСТ Р 12.0.001 – 2013 ССБТ. Основные положения.
14. Амиров Ю. Д. Основы конструирования: творчество – стандартизация – экономика: справочное пособие. М., 1991.
15. ГОСТ 30709 – 2002 Техническая совместимость. Термины и определения.
16. ГОСТ 30372 – 95 / ГОСТ Р 50397 – 92 Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения.
17. ГОСТ 23945.0 – 80 Унификация изделий. Основные положения.
18. РД 50-33 – 80 Методические указания. Определение уровня унификации и стандартизации изделий.
19. Бобков Н. М. Агрегатное и модульное проектирование технических систем // Справочник. Инженерный журнал. 2009. № 5.

20. Белозеров С. Ю., Пашев Г. П. Основные этапы становления и развития НИИПИ «Кварц» – история и современность // Кварц: Радиоизмерения и электроника: Научно-технический и рекламно-коммерческий периодический журнал ОАО «ФНПЦП «НИИПИ «Кварц» имени А. П. Горшкова». Нижний Новгород, 2014. Вып. № 20.
21. Бобков Н. М. Принцип базового проектирования в радиоаппаратостроении // Справочник. Инженерный журнал. 2003. № 2.
22. Несущие конструкции радиоэлектронной аппаратуры / под ред. П. И. Овсищера. М., 1988.
23. Даммер Дж., Брунетти К., Ли Л. Расчет и конструирование электронной аппаратуры / пер. с англ. М.–Л., 1964.
24. ГОСТ 28601.1 – 90, ГОСТ 28601.2 – 90, ГОСТ 28601.3 – 90 Система несущих конструкций 482,6 мм.
25. Технические средства магистрали VХI. Магистрально-модульные измерительные системы на базе шины VХI. – Н. Новгород: ГУП НИИПИ «Кварц», 2000.
26. ГОСТ Р 51623 – 2000 Конструкции базовые несущие радиоэлектронных средств. Система построения и координатные размеры
27. ГОСТ Р 52003 – 2002 Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств. Термины и определения.
28. Бобков Н. М. Несущие системы РЭС. Общие понятия и вопросы стандартизации // Вестник межрегионального Верхневолжского отделения Академии технологических наук Российской Федерации. Серия: Высокие технологии в радиоэлектронике, информатике и связи. Нижний Новгород, 2006. Вып. 1 (11).
29. ГОСТ Р 51676 – 2000 Конструкции базовые несущие радиоэлектронных средств. Термины и определения.
30. ГОСТ 20504 – 81 Система унифицированных типовых конструкций агрегатных комплексов ГСП. Типы и основные размеры.
31. Справочник конструктора РЭА. Общие принципы конструирования / Под ред. Р. Г. Варламова. М., 1980.
32. Конструирование приборов. В 2-х кн. Кн. 1. / Под ред. В. Краузе; Пер. с нем. М., 1987.
33. Бобков Н. М. Разработка аппаратуры с использованием базовых изделий и конструкций // Кварц: Радиоизмерения и электроника: Научно-технический и рекламно-коммерческий периодический журнал НИИПИ «Кварц». Нижний Новгород, 1997. Вып. № 6.

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

E-mail: n.bobkov@mail.ru