

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

А. В. Вялов

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА САМОЛЕТОВ

Допущено Учебно-методическим объединением
высших учебных заведений РФ по образованию в области авиации,
ракетостроения и космоса в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений, обучающихся
по специальности 160100 «Самолёто- и вертолётостроение»

2-е издание, дополненное

Комсомольск-на-Амуре
2013

УДК 629.7.01(07)
ББК 39.52-06я7
В994

Рецензенты:

Кафедра «Технология производства летательных аппаратов»
ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный
технологический университет им. К. Э. Циолковского»,
зав. кафедрой д-р техн. наук, профессор А. С. Чумадин;
Р. Ф. Крупский, канд. техн. наук, доцент, начальник НПО
филиала ОАО «Компания «Сухой» «КнААЗ им. Ю. А. Гагарина»

Вялов, А. В.

В994 Основы технологии производства самолетов : учеб. пособие /
А. В. Вялов. – 2-е изд., доп. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО
«КнАГТУ», 2013. – 145 с.
ISBN 978-5-7765-1016-8

В учебном пособии представлены начальные сведения о технологии производства самолетов. Рассмотрены основные понятия и определения, вопросы обеспечения качества производства самолетов, методы обеспечения взаимозаменяемости, вопросы технологичности деталей и сборочных единиц планера самолета.

Предлагаемый материал может быть полезен студентам, обучающимся по специальности "Самолето- и вертолётостроение" при изучении курсов "Технология изготовления деталей самолета" и "Технология сборки самолетов", выполнении дипломных работ.

УДК 629.7.01(07)
ББК 39.52-06я7

ISBN 978-5-7765-1016-8

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования «Комсомольский-на-Амуре
государственный технический
университет», 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА САМОЛЕТОВ	5
1.1. Самолет как объект производства	5
1.2. Производственный и технологический процессы	9
1.3. Методы и средства производства самолетов	12
1.3.1. Методы производства.....	12
1.3.2. Средства технологического оснащения.....	19
1.4. Виды производства	22
1.5. Типы производства	23
1.6. Производственные и технологические подразделения самолетостроительного предприятия	25
1.6.1. Производственные подразделения самолетостроительного предприятия.....	25
1.6.2. Технологические подразделения самолетостроительного предприятия.....	26
2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА САМОЛЕТОВ	28
2.1. Показатели качества.....	29
2.2. Виды технического контроля.....	32
2.3. Управление качеством	34
2.4. Техническое регулирование, стандартизация и сертификация.....	47
3. ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ПЛАНЕРА	54
3.1. Основные понятия и определения	54
3.2. Размерные цепи	57
3.3. Анализ технологических процессов.....	62
3.4. Базы и базирование	71
4. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ	80
4.1. Основные понятия и определения	80
4.2. Качественная оценка технологичности	82
4.3. Количественная оценка технологичности	85
5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ САМОЛЕТОВ	88
5.1. Основные понятия и определения	88
5.2. Способы построения поверхностей.....	93
5.3. Плазово-шаблонный метод увязки	100
5.4. Эталонно-шаблонный метод увязки.....	105
5.5. Методы объемной увязки	109
5.6. Расчетно-плазовый метод увязки	118
5.7. Методы бесплазовой увязки.....	121
5.8. Обеспечение взаимозаменяемости агрегатов по разъемам и стыкам	130
6. НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА САМОЛЕТОВ	135
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	142
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	143

ВВЕДЕНИЕ

Целью самолетостроительного производства является изготовление самолетов с летно-техническими, эксплуатационными характеристиками и стоимостью, соответствующими требованиям потребителя. Под *производством* понимают вид деятельности, направленный на преобразование исходных материалов в конечную продукцию.

Качество изготовления самолета во многом зависит от технологии и организации производства.

Технология производства самолетов – прикладная научная дисциплина о сущности процессов производства самолетов, взаимной связи этих процессов и закономерностях их развития.

Современные самолеты проектируются с учетом особых требований по экономической эффективности, надежности, безопасности, жестких условий эксплуатации, повышенного ресурса, комфортности, что в свою очередь требует разработки более прогрессивных методов изготовления и совершенствования используемых методов.

Цель учебного пособия – дать начальные сведения о технологии производства самолетов.

В пособии представлены основные понятия и определения, связанные с технологией производства самолета. Рассмотрены особенности самолета как объекта производства. Дана общая характеристика методов и средств самолетостроительного производства. Рассмотрены вопросы обеспечения качества производства самолетов.

Важным фактором, влияющим на качество самолета, является точность изготовления деталей и сборочных единиц. Поэтому в пособии рассмотрены различные методы обеспечения точности размеров и взаимозаменяемости, которые совершенствовались с ростом технического уровня производства.

Эффективность производства и эксплуатационные характеристики во многом зависят от технологичности конструкции самолета. В пособии приведены общие понятия и виды оценки технологичности.

В пособии также рассмотрены пути совершенствования технологии производства самолетов.

Сведения, представленные в учебном пособии, являются базой для изучения специальных дисциплин, в которых изучаются вопросы технологии производства самолетов, таких как «Технология изготовления деталей самолета» и «Технология сборки самолета».

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА САМОЛЕТОВ

1.1. Самолет как объект производства

На эффективность выполнения проектирования, производства и эксплуатации оказывает влияние конструктивно-технологическое членение самолета, под которым понимают разделение его планера на законченные в конструктивном и технологическом отношении части [1, 5, 29].

Основными элементами конструкции планера самолета являются:

1) *Агрегат* – наиболее крупная самостоятельная в конструктивном и технологическом отношении часть планера самолета (например, фюзеляж, крыло, киль, стабилизатор, элерон, закрылок, мотогондола и т. д.).

2) *Отсек* – это самостоятельная в конструктивном и технологическом отношении часть агрегата, образованная его поперечными или под углом к базовым осям агрегатов разъемами или стыками и имеющая в поперечном сечении замкнутый контур (например, носовая часть фюзеляжа, его средние и хвостовая части фюзеляжа).

3) *Секция* – часть агрегата или отсека, образованная его продольными разъемами или стыками и не имеющая замкнутый контур.

4) *Панель* – самостоятельная часть отсека, секции или агрегата, имеющая незамкнутую открытую с одной стороны конструкцию, состоящую из листов обшивки и соединенных с ними элементов продольного и поперечного набора (например, панели крыла и т. д.). Панели могут быть сборными и монолитными.

5) *Узел* – часть панели, секции, отсека или агрегата, состоящая из нескольких соединенных между собой деталей (сборные нервюры, шпангоуты, лонжероны и т. п.).

6) *Деталь* – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. Детали могут иметь покрытия, а также могут быть изготовлены с применением местной сварки, пайки, склеивания.

Агрегаты, отсеки, секции, панели и узлы являются сборочными единицами.

Сборочная единица – изделие, состоящее из нескольких частей, соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, клепкой, сваркой, пайкой и др.).

Составная часть – деталь или сборочная единица.

Пример конструктивно-технологического членения пассажирского самолета представлен на рис. 1.1.

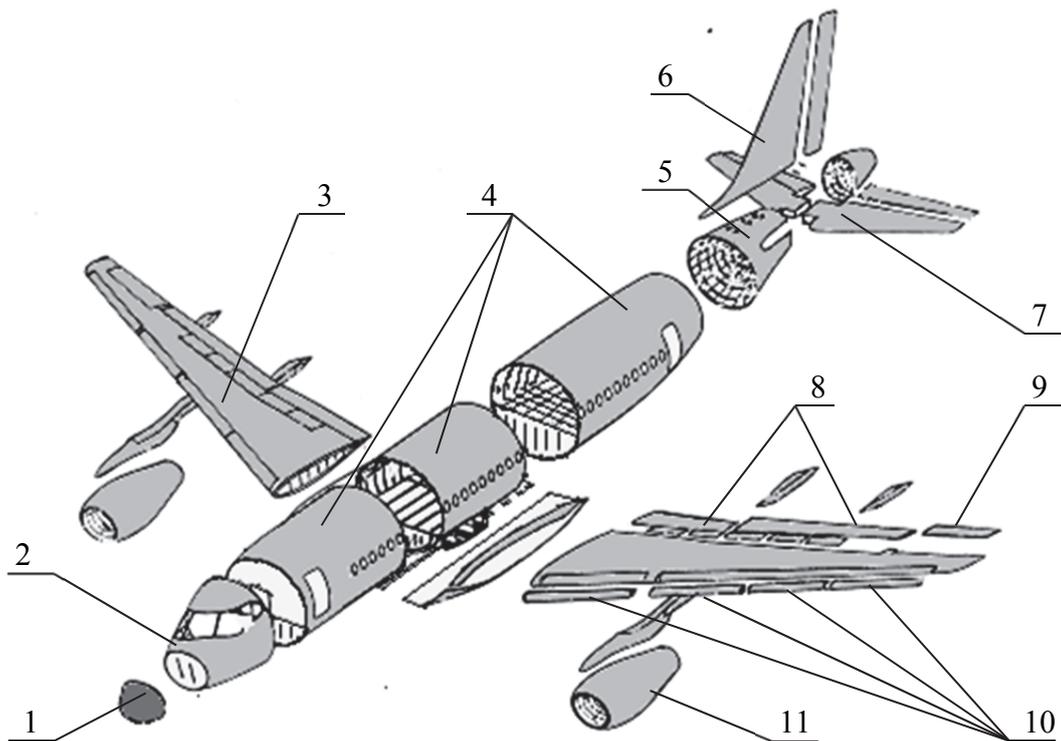


Рис. 1.1. Конструктивно-технологическое членение самолета:
 1 – носовой обтекатель; 2 – носовой отсек фюзеляжа; 3 – консоль крыла;
 4 – отсеки фюзеляжа; 5 – хвостовой отсек фюзеляжа; 6 – киль;
 7 – стабилизатор; 8 – закрылки; 9 – элерон; 10 – предкрылки; 11 – мотогондола

Расчленение планера самолета на отдельные элементы позволяет:

- *при проектировании* – сокращать сроки проектирования за счет разделения труда и выполнения конструкторских работ в специализированных бригадах;
- *при производстве* – сокращать производственный цикл за счет параллельного изготовления отдельных элементов планера, повышать производительность труда, применять специализацию и кооперацию производства;
- *при эксплуатации* – обеспечивать транспортировку самолета, сокращение циклов, затрат труда и материалов на техническое обслуживание и ремонт.

В конструкцию самолета входят не только планер, а также силовая установка и бортовые системы.

Бортовые системы самолета делятся на следующие конструктивно-технологические (монтажные) единицы: комплексы систем, системы, участки, зоны, панели, блоки и коммуникации.

Двигатели, шасси, навигационная аппаратура, радиоаппаратура и другое оборудование, входящее в состав бортовых систем, не изготавли-

ваются на предприятии-изготовителе самолета. Такие элементы называются покупными комплектующими изделиями (ПКИ).

Комплектующее изделие – изделие предприятия поставщика, применяемое как составная часть изделия, выпускаемого предприятием-изготовителем.

Самолет как объект производства имеет ряд специфических особенностей, прямо или косвенно влияющих на трудоемкость, цикл и качество проведения работ по изготовлению деталей, сборке, монтажу и испытаниям:

1) сложность формы конструктивных элементов планера самолета и всей конструкции в целом;

2) малую жесткость большинства деталей планера и в то же время явление пружинения при изготовлении деталей;

3) большую номенклатуру деталей и ПКИ, многодетальность конструкции планера самолета;

4) большую номенклатуру используемых материалов;

5) повышенные требования к качеству составных частей и самолету в целом;

6) высокую степень насыщенности планера самолета бортовыми системами и протяженность коммуникаций;

7) мелкосерийность производства;

8) большой объем ручного труда при выполнении сборочных, монтажных, регулировочных и испытательных работ;

9) до 30 % от всего оснащения производства приходится затрачивать на оснащение сборочных работ, что значительно превышает аналогичное оснащение в отраслях общего машиностроения и др.

К особенностям производства самолетов также относятся:

1) широкая кооперация производства;

2) частая смена объекта производства;

3) большой объем работ по технологической подготовке производства;

4) большие производственные площади.

Современный этап развития самолетостроения характеризуется переходом на бесплазовый метод производства, основанный на широком использовании цифровых технологий, высокоточного технологического оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), координатно-измерительных машин, лазерных устройств для выполнения нивелировочных работ и монтажа сборочных приспособлений.

Технологическая подготовка производства (ТПП) – совокупность мероприятий, обеспечивающих технологическую готовность производства.

Технологическая готовность производства – наличие на предприятии полных комплектов конструкторской и технологической документации и средств технологического оснащения, необходимых для осуществ-

ления заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями.

Основными функциями ТПП на самолетостроительном предприятии являются:

- 1) обеспечение технологичности элементов конструкции;
- 3) расцеховка деталей и сборочных единиц с целью распределения объемов работы между цехами основного производства предприятия;
- 4) проектирование средств увязки и обеспечения геометрической взаимозаменяемости элементов конструкции;
- 5) разработка типовых и рабочих технологических процессов изготовления деталей, сборочных единиц, общей сборки, монтажа и испытаний систем самолета;
- 6) разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ;
- 7) проектирование средств технологического оснащения;
- 8) изготовление и отладка средств технологического оснащения нулевой и последующих очередей.

К задачам ТПП также относятся: разработка норм расхода основных материалов, заготовок, полуфабрикатов, покупных изделий, согласование технических условий на их поставку; реконструкция цехов завода, связанная с особенностями конструкции нового изделия и технологии его изготовления; создание новых подразделений основного производства; изготовление головной серии осваиваемого изделия и отработка технологических процессов и оснастки при его изготовлении.

ТПП предусматривает проведение работ при проектировании изделий, изготовлении опытных образцов и единичных изделий, постановке на производство серийных изделий. На этапе проведения ТПП при проектировании изделий разрабатываются *директивные технологические материалы* (ДТМ), в которых содержатся определяющие технологические и организационные решения по производству самолета. В ДТМ указываются схемы конструктивно-технологического членения самолета и составных частей, перечень особо ответственных деталей и сборочных единиц, директивные материалы по технологическим процессам и др.

ДТМ используются при проведении ТПП опытных образцов и единичных изделий, а также при проведении ТПП серийных изделий.

При выполнении работ ТПП в настоящее время широко используются автоматизированные системы, например проектирование сборочных технологических процессов, выполняется в системе ТеМП, разработка техпроцессов механической обработки в системах СПРУТ ТП, Вертикаль, Технология и др. Планирование и анализ выполнения ТПП выполняются с помощью системы управления проектами MS Project и др.

1.2. Производственный и технологический процессы

Производственный процесс – это совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления и ремонта продукции.

Технологический процесс – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда [9].

К предметам труда относятся заготовки, детали, сборочные единицы и самолет.

Технологические процессы состоят из технологических операций.

Технологическая операция – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Технологическая операция может быть *простой* и *сложной*. Простой называют операцией, выполняемую одним рабочим, сложной – выполняемую одновременно несколькими рабочими. Простыми являются, например, операции, выполненные при изготовлении деталей на металлорежущих станках или прессах. Примером сложных операций могут служить сборочные операции, входящие в состав технологических процессов сборки планера самолета.

Технологические операции состоят из технологических и вспомогательных переходов.

Технологический переход – законченная часть операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке.

Вспомогательный переход – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и качества поверхности, но необходимы для выполнения технологического перехода. В свою очередь, переходы могут состоять из *ходов*, *приемов* и других элементов.

Технологические процессы в зависимости от признаков делятся на следующие виды.

По форме организации процесса:

Единый технологический процесс – техпроцесс, который применяется для изготовления изделий одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства.

Типовой технологический процесс – техпроцесс, который содержит операции и переходы для группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками, служит для разработки рабочего техпроцесса.

Групповой технологический процесс – техпроцесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

По освоенности процесса:

Перспективный технологический процесс – технологический процесс, разрабатываемый как информационная основа для проектирования рабочих процессов при техническом и организационном перевооружении производства, предусматривающем применение более совершенных методов обработки, более производительных и экономически эффективных средств оснащения и изменение принципов организации производства.

Рабочий технологический процесс – процесс изготовления одного или нескольких изделий в соответствии с требованиями принятой для данных условий производства рабочей документации.

По степени детализации описания процесса различают:

Маршрутное описание технологического процесса – сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания режимов обработки и технологических переходов.

Операционное описание технологического процесса – полное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и режимов обработки.

Маршрутно-операционное описание технологического процесса – сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения с полным описанием отдельных операций в других технологических документах.

Содержание технологических процессов раскрывается в технологических документах.

Технологический документ – графический или текстовый документ, который отдельно или в совокупности с другими документами определяет технологический процесс или операцию изготовления изделия.

Технологические документы в зависимости от назначения делят на основные и вспомогательные.

Основные документы подразделяются на документы общего и специального назначения. К документам *общего назначения* относятся титульный лист, карта эскизов и технологическая инструкция.

Карта эскизов (КЭ) – документ, предназначенный для указания дополнительной графической информации в виде эскизов, схем, таблиц.

Технологическая инструкция (ТИ) – документ, предназначенный для указания текстовой информации, связанной с описанием часто повторяющихся приемов работы.

Рассмотрим некоторые виды технологических документов *специального назначения*:

1) *Карта технологического процесса (КТП)* – технологический документ, содержащий описание технологического процесса изготовления или ремонта изделия по всем операциям одного вида работ, выполняемых

в одном цехе в технологической последовательности с указанием данных о средствах технологического оснащения, материальных и трудовых нормативах и технологических режимах.

2) *Маршрутная карта* (МК) – технологический документ, содержащий описание технологического процесса изготовления или ремонта изделия по всем операциям в технологической последовательности с указанием данных об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых нормативах.

3) *Операционная карта* (ОК) – технологический документ, содержащий описание технологической операции с указанием переходов, режимов обработки и данных о средствах технологического оснащения.

4) *Карта типового технологического процесса* (КТТП) – технологический документ, содержащий описание типового технологического процесса изготовления или ремонта группы деталей в технологической последовательности с указанием операций, переходов и соответствующих данных о средствах технологического оснащения и материальных нормативах.

5) *Ведомость оснастки* (ВО) – технологический документ, содержащий перечень применяемой технологической оснастки.

6) *Ведомость технологических документов* (ВТД) – документ, предназначенный для указания полного состава документов, необходимых для изготовления или ремонта изделий (составных частей) и применяемый при передаче комплекта документов (с одного предприятия на другое).

В комплект технологической документации на детали и сборочные единицы самолета входит технологический паспорт.

Технологический паспорт – документ, в котором указываются состав операций, выполняемых при изготовлении изделия, а также исполнители и контролирующие лица.

К *вспомогательным документам* относят документы, применяемые при разработке, внедрении и функционировании техпроцесса и операций, например, карта заказа на проектирование технологической оснастки, акт внедрения техпроцесса и др.

Составной частью технических документов являются технические условия, которые действуют наравне с конструкторской документацией и основным комплектом технической документации. В технических условиях излагаются требования к свойствам и параметрам продукции, относящиеся к режимам и условиям эксплуатации и испытаний, указываются порядок контроля, условия приемки, виды контроля и др.

Для самолетов к числу *определяющих* относятся требования к *допускаемым отклонениям размеров, форм, взаимного расположения элементов, к их качеству*. Технические требования на выполнение аэродинамических и геометрических форм положены в основу разработки технологии и фактически определяют весь технологический процесс от изготовления деталей и создания отдельных агрегатов до общей сборки самолета.

1.3. Методы и средства производства самолетов

Производство самолетов состоит из шести основных этапов:

- 1) Изготовление деталей.
- 2) Узловая сборка.
- 3) Агрегатная сборка.
- 4) Общая сборка.
- 5) Монтажные работы.
- 6) Испытания.

1.3.1. Методы производства

Методы производства – технологические методы выполнения работ, связанных с изготовлением изделий.

Технологический метод – совокупность правил, определяющих последовательность и содержание действия при выполнении формообразования, обработки или сборки, перемещения, включая технический контроль, испытания в технологическом процессе изготовления или ремонте, установленных безотносительно к наименованию, типоразмеру.

При изготовлении деталей используются заготовки и полуфабрикаты.

Заготовка – предмет труда, из которого изменением формы, размеров, свойств поверхности материала получают деталь. Заготовки получают из исходного материала или из полуфабриката методами литья,ковки, механообработки.

Полуфабрикат – изделие предприятия-поставщика, которое дополнительно обрабатывается или идет на сборку основного изделия на заводе-изготовителе самолета. К полуфабрикатам относятся листы, прессованные профили, трубы и пр.

В качестве материалов в самолетостроении используются алюминиевые, алюминивно-литиевые и титановые сплавы, различные стали, полимерные композитные материалы, пластмассы и др.

Основные методы по преобразованию исходного материала в заготовки, полуфабрикаты и детали можно разделить на следующие группы:

- 1) методы формообразования;
- 2) методы обработки давлением без удаления материала;
- 3) методы обработки с принудительным удалением материала (со снятием стружки);
- 4) методы обработки с изменением свойств и поверхностного слоя;
- 5) нанесение покрытий.

К первой группе относятся литье и формование; ко второй группе – процессы холодного и горячего пластического деформирования при ковке, листовой и объемной штамповке; к третьей – обработка резанием, элек-

трохимические и электрофизические методы обработки; к четвертой группе – термическая обработка, химико-термическая обработка и методы поверхностного упрочнения.

Литьем называется формирование из жидкого материала путем заполнения им полости заданной формы и размеров с последующим его затвердением. Применяются следующие методы литья: в песчаные и оболочковые формы, по выплавляемым моделям, в кокиль, под давлением, центробежное литье, в настоящее время начинают использовать пленочно-вакуумное формование и др. Литьем изготавливают заготовки (отливки) и детали.

Формованием называют формирование из порошкового и волоконного материала путем заполнения ими жесткой полости заданной формы и размеров с последующим сжатием (прессованием) и спеканием или полимеризацией. Используется в порошковой металлургии и при изготовлении изделий из композитных материалов.

Ковка – обработка металлов давлением местным приложением деформирующих нагрузок. Ковкой получают заготовки (поковки) для последующей механической обработки. Основные операции ковки: разрубка (отрубка), осадка, высадка, протяжка, пробивка, прошивка, гибка, скручивание.

Методы листовой и объемной штамповки. Под *листовой штамповкой* понимают различные методы холодной (реже горячей) обработки металлов давлением, при которых исходная тонкостенная заготовка деформируется без значительного перераспределения площади поперечного сечения.

Исходным материалом для листовой штамповки обычно служат полуфабрикаты в виде листов, полос, лент, труб и профилей различного поперечного сечения из деформируемых сплавов.

Операции листовой штамповки делятся на *разделительные* и *формообразующие*.

Назначение разделительных операций – раскрой листовых и профилированных полуфабрикатов.

К *разделительным* операциям относятся: отрезка, разрезка, вырубка, надрезка, проколка, пробивка, обрезка, зачистка, высечка, просечка.

Назначение формообразующих операций – превращение плоских или прямолинейных заготовок в детали пространственных форм.

К *формообразующим* операциям относятся: формовка, гибка, чеканка, обтяжка, отбортовка, обжим, раздача, калибровка, вытяжка, прошивка, высадка и др.

Методами листовой штамповки получают практически все тонкостенные детали планера самолета: обшивки, обтекатели, нервюры, стрин-

геры, перегородки, детали лонжеронов и шпангоутов, а также элементы трубопроводных систем – трубопроводы, переходники и др.

Под *объемной штамповкой* понимают методы (часто горячей) обработки давлением, при которых исходная толстостенная заготовка деформируется со значительным перераспределением площади поперечного сечения. Исходным материалом для объемной штамповки служат обычно прокатанные и пресованные прутки различного поперечного сечения, а также прокат. Горячей штамповке подвергаются чаще всего углеродистые или низколегированные стали, реже цветные металлы и сплавы.

Горячей объемной штамповкой получают следующую номенклатуру деталей: монолитные панели, стыковые шпангоуты, усиленные нервюры, узлы навески, кронштейны, стойки, корпуса и штоки гидроцилиндров и т.д.

В самолетостроении штамповку относят к *заготовительно-штамповочным работам* (ЗШР).

Методы обработки резанием. Методы обработки резанием являются универсальными методами размерной обработки заготовок. Они позволяют обрабатывать и получать поверхности деталей различных форм и размеров с высокой точностью и заданными параметрами шероховатости.

Заготовками служат полуфабрикаты в виде прутков, плит, поковок, отливок.

Сущность обработки резанием заключается в процессе получения детали требуемой геометрической формы, заданной точности размеров, взаиморасположения и шероховатости поверхностей за счет пластического деформирования и последующего отделения (разрушения) поверхностных слоев материала с образованием стружки.

По типу режущего инструмента методы обработки резанием делят на методы лезвийной обработки и методы абразивной обработки.

К лезвийной обработке относятся точение, фрезерование, сверление, развертывание, протягивание, нарезание резьбы и др. К абразивной обработке – шлифование, полирование, хонингование и др.

Лезвийную обработку применяют для грубой (черновой) и чистовой обработок, а абразивную обработку – в основном для чистовой заключительной обработки деталей.

Методы обработки резанием используются для изготовления деталей и доработки в местах соединений. Наибольшее применение в самолетостроении находит фрезерование. Номенклатура изготавливаемых фрезерованием деталей: панели, нервюры, шпангоуты, лонжероны и др.

В самолетостроении методы обработки резанием относят к *механической обработке*.

При *химической обработке* удаление материала и придание заготовке заданной формы происходит за счет растворения его в кислотах или щелочах. Наиболее широкое применение находит метод размерного трав-

ления, называемый химическим фрезерованием. При этом методе металл удаляется с открытых поверхностей. Те места заготовки, где не должна происходить обработка, изолируются предохранительной пленкой или специальным нейтральным смазочным материалом.

При *электрохимической обработке* заданное изменение формы, размеров или шероховатости поверхности происходит за счет растворения обрабатываемого материала в электролите под воздействием электрического тока.

К *электрофизической обработке* относится обработка, заключающаяся в изменении формы, размеров и шероховатости поверхности заготовки с применением электрических разрядов, импульсного магнитного поля, электронного и оптического излучения, плазменной струи и др.

Анодно-механическая обработка включает различные способы размерной обработки, основанные на одновременном использовании анодного растворения и механического удаления продуктов распада с обрабатываемой поверхности. Применяется для чистового тонкого шлифования, затачивания твердосплавных инструментов, разрезания заготовок.

Электроконтактная обработка относится к размерной обработке, при которой съем металла с обрабатываемой поверхности происходит за счет нестационарных контактно-дуговых процессов между электродами.

К *электроэрозионной* относится обработка, в которой поверхностное разрушение материала происходит под действием выделяемой теплоты при электрическом разряде.

Плазменная обработка основана на использовании концентрированного потока тепловой энергии, которой обладает плазменная струя.

Электронно-лучевая обработка основана на применении электронного пучка, создающего высокую плотность тепловой энергии, которая вызывает плавление и испарение материала в месте его столкновения с обрабатываемой поверхностью.

Лазерная обработка основана на использовании концентрированной тепловой энергии, возникающей в специально сформированном световом пучке в зоне его соприкосновения с обрабатываемой поверхностью. Метод более дешевый в сравнении с электронно-лучевой обработкой. Применяется для резки металлических и неметаллических материалов, обеспечивает большую точность обработки.

Ультразвуковая обработка основана на применении энергии ультразвуковых колебаний для абразивной обработки деталей из различных материалов.

Термической обработкой называют обработку, заключающуюся в изменении структуры и свойств материала заготовки вследствие теплового воздействия и последующего охлаждения в определенной среде (закалка, отпуск, отжиг, нормализация).

Химико-термическая обработка заключается в изменении структуры и свойств материала заготовки вследствие насыщения химическими элементами при нагреве в определенной среде (цементация, азотирование, цианирование и др.).

Методы поверхностного упрочнения пластическим деформированием заключаются в воздействии на поверхность заготовки или детали рабочих поверхностей инструмента или металлических частиц. Деформирование поверхностных слоев (поверхностное упрочнение) деталей применяется для повышения сопротивления усталости конструкции. Некоторые методы применяются для формообразования обшивок. Методы упрочнения поверхностных слоев могут быть статическими и динамическими.

Статические методы:

- *обкатывание* – выполняется обработка наружных поверхностей деталей с помощью движущихся металлических роликов или шариков;
- *раскатывание* – выполняется обработка внутренних поверхностей деталей за счет качения роликов между направляющей инструмента (раскатника) и поверхностью;
- *калибрование* (дорнирование) – заключается в обработке отверстий перемещением с натягом жесткого инструмента (дорна, шарика).

Динамические методы:

- *виброобработка* заключается в обработке поверхностного слоя детали металлическими шариками за счет создания механических колебаний определенной амплитуды и частоты;
- *дробеструйная обработка* заключается в обдувке поверхности детали быстролетящей дробью. Используется как для упрочнения, так и для формообразования.

Нанесением покрытия называют обработку, заключающуюся в образовании на заготовке, детали или сборочной единице поверхностного слоя из инородного материала. Нанесение покрытия может выполняться электролитическим методом, напылением, окрашиванием и др.

Изготовление изделий из полимерных композитных материалов. В настоящее время расширяется объем применения в конструкции планера самолета полимерных композитных материалов. Применение композитных материалов в конструкции позволяет повысить весовые характеристики, поэтому производство изделий из композитных материалов для самолетостроения является одной из приоритетных задач.

Методы изготовления изделий: прессование, вакуумное и автоклавное формование, термокомпрессионное формование и т. д. Изготавливаются панели крыла, щитки, лючки, створки, закрылки и другие элементы конструкций. Материалы: стеклопластики, углепластики, органопластики, гибридные материалы.

Методы сборки. Под *сборкой* понимают образование соединения составных частей изделия.

Процесс сборки в общем случае состоит из следующих операций:

- подготовки деталей к сборке;
- установки деталей в требуемое положение (базирование);
- фиксации деталей с помощью фиксаторов, прижимов и др.;
- соединения деталей;
- дефиксации изделия (освобождение от прижимов, фиксаторов);
- контроля.

По виду собираемых сборочных единиц выделяют следующие виды сборки:

- *узловая сборка* – из деталей выполняется сборка нервюр, перегородок, лонжеронов, панелей и др.;
- *агрегатная сборка* – из узлов и панелей выполняется сборка секций, отсеков и агрегатов, монтаж элементов бортовых систем;
- *общая сборка* – выполняются стыковка агрегатов, соединение бортовых систем в местах разъемов агрегатов, отработка бортовых систем самолета.

По виду соединений методы сборки можно разделить на методы выполнения неразъемных и разъемных соединений.

Методы выполнения *неразъемных* соединений:

- *клепка* – процесс образования неразъемных соединений с помощью заклепок. Применяется при сборке узлов, панелей и агрегатов;
- *сварка* – процесс создания неразъемного соединения посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями изделия при местном или общем нагреве, или пластическом деформировании, или совместном действии нагрева и пластического деформирования. Применяется при сборке узлов, панелей и агрегатов;
- *пайка* – процесс образования неразъемных соединений деталей за счет расплавления специального материала - припоя. Применяется при изготовлении и монтаже трубопроводных и электрических систем; при изготовлении трехслойных конструкций с металлическим сотовым наполнителем;
- *склеивание* – образование неразъемных соединений при помощи клея. Применяют также комбинированные соединения деталей: клеезаклепочные, клееболтовые.

Клепка является в самолетостроении самым распространенным методом выполнения неразъемных соединений.

Процесс *клепки* заключается в осаждении выступающей части стержня заклепки с целью образования замыкающей головки требуемой формы.

В зависимости от характера прикладываемой нагрузки различают ударную и прессовую клепку.

Ударная клепка выполняется ударами с помощью пневматических клепальных молотков. Ударная клепка может быть *прямой* (при формировании замыкающей головки удары наносят по стержню заклепки) и *обратной* – удары наносят по закладной головке заклепки, а расклепывание стержня выполняется с помощью поддержки.

Прессовая клепка производится путем равномерного сжатия стержня заклепки с помощью клепальных прессов и автоматов. Прессовая клепка бывает *одиночной*, когда расклепывается только одна заклепка, и *групповой* – одновременно расклепывается несколько заклепок.

Методы сварки классифицируются по следующим признакам.

По состоянию вещества в зоне соединения:

- сварка в жидкой фазе (сварка плавлением) – температура металла в зоне соединения выше температуры его плавления;
- сварка в твердой фазе (сварка давлением) – температура металла в зоне соединения ниже температуры плавления свариваемых металлов.

По виду энергии, используемой для образования соединения:

- термические виды сварки;
- термомеханические виды сварки;
- механические виды сварки.

К *термическим видам* относятся виды сварки плавлением с использованием тепловой энергии: дуговая сварка, плазменная, электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерная и др.

К *термомеханическим видам* относятся виды сварки, реализуемые с использованием тепловой энергии и давления: контактная сварка, диффузионная сварка и др.

К *механическим* относятся виды сварки, осуществляемые с помощью механической энергии: холодная сварка, сварка трением, сварка взрывом, ультразвуковая и др.

Методы выполнения разъемных соединений:

- с применением болтов (используется при сборке узлов, панелей, агрегатов, стыковке агрегатов);

- с применением винтов.

По способу базирования методы сборки делятся на следующие виды:

- по базовым поверхностям деталей;
- сборочным отверстиям;
- базовым отверстиям;
- наружной поверхности обшивки;
- внутренней поверхности обшивки;
- поверхности каркаса.

Монтажные работы заключаются в монтаже электро- и трубопроводных систем, систем управления, различного оборудования и др.

Монтаж – установка элементов бортовых систем и коммуникаций, их крепление к деталям планера, соединение между собой.

В процессе выполнения монтажных работ также выполняется регулирование и настройка параметров систем.

Испытания – экспериментальное определение количественных и (или) качественных свойств объекта как результата воздействия на него при его функционировании, а также при моделировании объекта или воздействия на него.

Выполняются следующие виды испытаний:

- климатические испытания;
- испытания на герметичность;
- испытания на функционирование;
- ресурсные испытания и др.

Испытания проводятся на различных этапах изготовления самолета: при проведении входного контроля ПКИ; после выполнения сборочных и монтажных работ в агрегатных цехах и цехе общей сборки. Ответственным этапом производства самолетов являются наземная отработка и летные испытания самолета на летно-испытательной станции.

1.3.2. Средства технологического оснащения

Для выполнения технологических процессов используются средства технологического оснащения.

Средства технологического оснащения (СТО) – совокупность орудий производства, необходимых для осуществления технологического процесса. СТО составляют две группы: технологическое оборудование и технологическая оснастка [9].

Технологическое оборудование – средства технологического оснащения, в которых для выполнения определенной части технологического процесса размещаются материалы или заготовки, средства воздействия на них, а также технологическая оснастка.

К технологическому оборудованию относятся следующие виды оборудования.

Механообрабатывающее оборудование:

- фрезерные станки с ЧПУ;
- токарные станки с ЧПУ;
- обрабатывающие центры (многооперационные станки);
- шлифовальные станки;
- сверлильные станки и установки;

- дробеструйные установки;
- разделочные стенды для обработки отверстий поверхностей стыковых узлов и др.

Заготовительно-штамповочное оборудование:

- кривошипные листовые ножницы;
- гидравлические и механические прессы;
- фрезерно-обрезные станки;
- обтяжные прессы;
- валковые гибочные станки и машины;
- трубогибочные станки;
- профилегибочные станки и др.

Кузнечно-прессовое оборудование: гидравлические и ковочные прессы.

Литейное оборудование: муфельные и индукционные печи.

Электрохимическая обработка: ванны.

Оборудование для выполнения сверлильно-клепальных и сборочных работ:

- сверлильно-зенковальные установки;
- клепальные прессы;
- клепальные автоматы;
- стыковочные стенды;
- нивелировочные стенды.

Сварочное оборудование: сварочные автоматы и машины, манипуляторы, вращатели и кантователи.

Оборудование для изготовления изделий из ПКМ:

- раскройные станки;
- выкладочные машины;
- намоточные станки;
- автоклавы;
- термопечи.

К технологическому оборудованию также относятся:

- оборудование для климатических испытаний;
- стенды и установки для отработки и испытаний бортовых систем самолета;
- мобильные и стационарные координатно-измерительные машины для выполнения операций контроля геометрической формы изделий;
- инструментальные стенды и лазерные системы для выполнения монтажа сборочных приспособлений.

Технологическое оборудование может быть универсальным, специализированным и специальным.

Универсальным является оборудование, на котором можно изготовить детали с различными конструктивными параметрами и применением различных видов обработки.

Специализированное оборудование позволяет изготавливать группу деталей, имеющих общие конструктивно-технологические характеристики, но различные размеры.

Специальное оборудование служит для изготовления деталей только одного наименования и размера.

Современные самолетостроительные предприятия оснащены передовым автоматизированным технологическим оборудованием с ЧПУ. Это позволяет осуществлять выпуск качественной авиационной техники.

Технологическая оснастка – средства технологического оснащения, дополняющие технологическое оборудование для выполнения определенной части технологического процесса.

К технологической оснастке относятся приспособления, инструменты, средства механизации и автоматизации.

Приспособление – технологическая оснастка, предназначенная для установки или направления предмета труда или инструмента при выполнении технологической операции.

Приспособления в зависимости от вида работ подразделяются на станочные, сборочные, монтажные, контрольные, для отработки и испытаний бортовых систем и пр.

Инструмент – технологическая оснастка, предназначенная для воздействия на предмет труда с целью изменения его состояния. Например, режущие инструменты (резцы, сверла, фрезы развертки, протяжки и др.), штампы для листовой и объемной штамповки, сборочный и монтажный инструмент и др.

Технологическая оснастка так же, как и оборудование, может быть универсальной, специализированной и специальной.

При выполнении технологических процессов и операций контроля используют средства измерений.

Средство измерения – техническое устройство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики.

Различают следующие виды средств измерений: меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные установки и измерительные системы.

Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Измерительный преобразователь – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

Измерительная установка – совокупность функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем, и расположенных на одном месте.

Измерительная система – совокупность средств измерений и совокупность вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления.

Средства механизации и автоматизации применяют для механизации и автоматизации процессов производства с целью облегчения и повышения производительности труда, качества изделий и снижения трудоемкости их изготовления.

1.4. Виды производства

Виды производства классифицируют по назначению, по стадии изготовления и по применяемым методам изготовления изделий.

По *назначению* производства делятся на следующие виды:

- *основное* – производство товарной продукции;
- *вспомогательное* – производство средств, необходимых для обеспечения функционирования основного производства;
- *обслуживающее* – производство, необходимое для обеспечения функционирования основного и вспомогательного производства;
- *опытное* – производство образцов, партий или серий изделий для проведения исследовательских работ или разработки конструкторской или технологической документации для установившегося производства.

Установившееся производство – производство изделий по окончательно отработанной конструкторской и технологической документации.

В зависимости от *стадии изготовления* различают следующие виды производства:

- *заготовительное производство* – изготовление из сырья и материалов заготовок резкой, литьем, штамповкой и другими методами для их последующей обработки;
- *обрабатывающее производство* – изготовление деталей из материалов, заготовок путем механической, термической, физико-механической обработки и с помощью других технологических методов;

- *сборочное производство* – сборка из деталей сборочных единиц, общая сборка самолета, проведение испытаний и пр.

По применяемым методам производства в самолетостроении делятся на следующие виды:

- *механообрабатывающее производство;*
- *заготовительно-штамповочное производство;*
- *кузнечно-штамповое производство;*
- *литейное производство;*
- *металлургическое производство;*
- *сварочное производство;*
- *агрегатно-сборочное производство и др.*

1.5. Типы производства

Тип производства – это классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий [1, 29].

Объем выпуска – количество изделий определенных наименований, типоразмеров и исполнений, изготавливаемых или ремонтируемых предприятием или его подразделением в течение планируемого интервала времени.

Программа выпуска – перечень наименований изготавливаемых или ремонтируемых изделий с указанием объема выпуска и срока выполнения по каждому наименованию.

Различают три типа производства:

- 1) *единичное производство;*
- 2) *серийное производство;*
- 3) *массовое производство.*

Основной характеристикой типа производства является *коэффициент закрепления операций*, который представляет собой отношение числа всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест:

$$K_{zo} = \frac{n}{m},$$

где n – число всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение определенного времени; m – число рабочих мест, на которых выполняются эти операции.

Единичное производство характеризуется малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление и ремонт которых, как правило, не предусматриваются.

Единичное производство характеризуется также следующими показателями:

- маршрутная разработка техпроцессов;
 - на одном рабочем месте выполняются разнообразные операции
- $K_{30} > 40$;
- нерегулярная повторяемость работ на рабочих местах;
 - применяются универсальное технологическое оборудование и инструмент;
 - исполнители имеют высокую квалификацию;
 - большой объем ручных работ.

Серийное производство характеризуется изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями (сериями).

Партия – количество одновременно запускаемых в производство деталей (изделий).

Серия изделий – все изделия, изготовленные по конструкторской или технологической документации без изменения ее обозначения.

В зависимости от количества изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают:

- мелкосерийное производство;
- среднесерийное производство;
- крупносерийное производство.

Для *мелкосерийного производства* $20 < K_{30} \leq 40$, *серийного* $10 < K_{30} \leq 20$, *крупносерийного* $1 < K_{30} \leq 10$.

Мелкосерийное производство характеризуется небольшими сериями (по 2 – 3 изделия в каждой) и малым числом серий в планируемом периоде (2 – 3 серии в течение года).

Среднесерийное производство характеризуется более крупными, чем при мелкосерийном производстве сериями и большим числом серий в планируемом периоде.

Для самолетостроения каждая из серий в зависимости от размеров самолетов может включать от 4 до 20 машин при 4 – 10 сериях в планируемом периоде.

Серийное производство характеризуется следующими показателями:

- маршрутно-операционная разработка техпроцессов;
- на одном рабочем месте выполняются более одной производственной операции;
- регулярная повторяемость одних и тех же работ в плановом периоде;
- применяются универсальное и специализированное технологическое оборудование и инструмент;
- взаимозаменяемость неполная и полная;
- исполнители имеют среднюю квалификацию.

Массовое производство характеризуется большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготовляемых или ремонтируемых продолжитель-

ное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция ($K_{30} = 1$).

Массовое производство также характеризуется следующими показателями:

- подетальная и операционная разработка техпроцессов;
- на одном рабочем месте выполняется одна операция;
- постоянная повторяемость одних и тех же работ на рабочем месте в плановом периоде;
- применяются специальное технологическое оборудование и инструмент;
- взаимозаменяемость полная;
- исполнители имеют низкую квалификацию.

1.6. Производственные и технологические подразделения самолетостроительного предприятия

1.6.1. Производственные подразделения самолетостроительного предприятия

Производственную структуру самолетостроительного предприятия составляют цехи, службы и формы связей между ними.

Цехом называется основное производственное подразделение предприятия, выполняющее определенную часть производственного процесса.

Цехи являются самостоятельными подразделениями и осуществляют свою деятельность на началах внутрипроизводственного хозяйственного расчета. Структуру цеха определяет состав производственных участков и формы их связи.

Производственный участок – группа рабочих мест, организованных по принципам: предметному (выполняется изготовление только определённого вида продукции), технологическому (выполняется только определённый вид операции) или предметно-технологическому.

Рабочее место – элементарная единица структуры предприятия, где размещены исполнители работы, обслуживаемое технологическое оборудование, часть конвейера, на ограниченное время оснастка и предметы труда.

В зависимости от стадии производства цехи делятся на следующие виды:

- 1) основного производства;
- 2) вспомогательного производства;
- 3) обслуживающего производства.

По форме специализации цехи разделяются по технологическому и предметному признакам.

По *технологическому признаку* цехи делятся на следующие виды:

- 1) механические,
- 2) заготовительно-штамповочные,
- 3) литейные,
- 4) сборочные,
- 5) летно-испытательная станция и др.

По *предметному* признаку цехи делятся на следующие виды:

- 1) сборки крыла;
- 2) сборки фюзеляжа;
- 3) общей сборки и др.

В цехах *основного* производства изготавливают детали планера и элементы бортовых систем самолета, выполняют сборочные работы, монтаж и испытания бортовых систем и другие виды деятельности, непосредственно связанные с объектами производства.

Назначение цехов *вспомогательного* производства – изготовление технологического оснащения для основного производства.

В цехах вспомогательного производства изготавливают различные приспособления, инструменты, шаблоны и др.

К цехам вспомогательного производства относятся плазово-шаблонный, инструментальный, сборки приспособлений и др.

Обслуживающее производство необходимо для обеспечения деятельности цехов основного и вспомогательного производства.

К *обслуживающему* производству относятся: транспортный цех, экспедиционная служба, различные технологические службы, обеспечивающие производство сжатым воздухом, водой и др.

1.6.2. Технологические подразделения самолетостроительного предприятия

Структура и состав технологических подразделений самолетостроительных предприятий зависят от типа самолета, объема и номенклатуры выпуска, применяемых технологических процессов, и формируется в зависимости от целесообразности и эффективности выполняемых работ.

Технологические подразделения делятся на отделы. Отделы состоят из бюро. Бюро могут состоять из групп. На уровне цеха технологические вопросы решаются сотрудниками цеховых технологических бюро.

Каждая структурная единица технологического подразделения выполняет свою функцию, связанную с выполнением конструкторской (по разработке технологической оснастки) или технологической задачи.

Технологические подразделения подчиняются главному инженеру или техническому директору.

Руководство технологическими отделами осуществляют главные специалисты, например: главный технолог, главный металлург и др.

В структуре отдела "Главного технолога" могут быть следующие подразделения:

- 1) Отдел механической обработки.
- 2) Отдел заготовительно-штамповочных работ.
- 3) Отдел сборочных работ.
- 4) Отдел монтажных работ.

В составе отделов могут быть следующие бюро и группы:

- 1) Технологическое бюро механических работ.
- 2) Конструкторское бюро проектирования станочных приспособлений.
- 3) Технологическое бюро клепально-сборочных работ.
- 4) Конструкторское бюро проектирования сборочных приспособлений.
- 5) Конструкторское бюро проектирования испытательного оборудования.
- 6) Технологическое бюро монтажных работ.
- 7) Группа нормирования материалов.
- 8) Группа расцеховки и др.

Контрольные вопросы

1. Чем вызвана необходимость разделения планера самолета на сборочные единицы?
2. На какие сборочные единицы делится планер самолета?
3. Дайте определение понятию "покупное комплектующее изделие".
4. Назовите особенности самолета как объекта производства.
5. Назовите основные функции технологической подготовки производства.
6. Дайте определения понятию "технологический процесс" и назовите его элементы.
7. На какие виды делятся технологические процессы по форме организации процесса?
8. На какие виды делятся технологические процессы в зависимости от степени детализации процесса?
9. Какие документы относятся к специальной технологической документации?
10. Назовите основные этапы производства самолетов.
11. Какие технологические методы относятся к методам лезвийной обработки?
12. Назовите основные операции сборки.
13. На какие группы делятся средства технологического оснащения?
14. Дайте определение понятию "приспособление".
15. Назовите типы производства. Чем они отличаются от видов производства?

16. Назовите основную характеристику типа производства.
17. Дайте характеристику серийного производства.
18. Назначение цехов основного производства и примеры цехов основного производства.
19. По каким признакам разделяются цехи по форме специализации?

2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА САМОЛЕТОВ

В учебной и специальной технической литературе используются следующие понятия качества.

Качество продукции – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением [7].

Качество – степень соответствия присущих характеристик требованиям [14].

Под *требованиями* понимают потребность или ожидание, которое установлено, обычно предполагается или является обязательным.

Характеристика – отличительное свойство. Характеристика может быть: собственной или присвоенной, качественной или количественной.

Характеристика качества – присущая характеристика продукции, процесса или системы, вытекающая из требования.

Контроль качества следует проводить на всех этапах жизненного цикла изделия.

Жизненный цикл изделия – совокупность взаимосвязанных процессов создания и последовательного изменения состояния изделия от формирования исходных требований к нему и до окончания его эксплуатации.

Жизненный цикл изделия состоит из следующих этапов:

- 1) маркетинг, поиск и изучение рынка;
- 2) проектирование;
- 3) материально-техническое снабжение;
- 4) технологическая подготовка производства;
- 5) производство;
- 6) контроль, проведение испытаний;
- 7) подготовка к реализации (упаковка и хранение);
- 8) реализация продукции;
- 9) эксплуатация;
- 10) техническая помощь и обслуживание;
- 11) утилизация.

На этапе производства большое влияние на качество выпускаемой продукции оказывают следующие факторы:

- 1) материалы;
- 2) используемое оборудование;

- 3) технология изготовления;
- 4) квалификация работников;
- 5) методы и средства измерений.

Требования к качеству регламентируются нормативно-технической документацией (НТД).

Для оценки качества продукции при ее создании, испытаниях, сертификации, покупке и эксплуатации используются показатели качества.

2.1. Показатели качества

Показатель качества продукции – количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, входящих в ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации или потребления.

Показатели качества должны удовлетворять определенным требованиям, главными из которых являются:

- обеспечение соответствия качества продукции потребностям;
- стабильность на всех этапах жизненного цикла;
- учет современных достижений науки и техники.

По *характеризуемым свойствам* показатели делятся на следующие группы [25, 29]:

- показатели назначения;
- показатели надежности;
- экономические показатели;
- эргономические показатели;
- эстетические показатели;
- показатели технологичности;
- показатели унификации;
- патентно-правовые показатели;
- экологические показатели;
- показатели безопасности;
- транспортабельности.

Показатели назначения – требования, устанавливающие свойства продукции, определяющие ее основные функции, для выполнения которых она предназначена (производительность, точность, скорость и т. д.).

Показатели надежности характеризуют свойство продукции сохранять в заданном интервале времени, в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования. Надежность харак-

теризуют следующие показатели: безотказность, долговечность, ремонтно-пригодность и сохраняемость.

Экономические показатели отражают затраты на разработку, изготовление и эксплуатацию или потребление, а также экономическую эффективность эксплуатации (удельный расход сырья, материалов и т. д.).

Эргономические показатели – характеристики одного или нескольких эргономических свойств продукции, используемых для определения ее соответствия эргономическим требованиям, определяемым свойствами человека и характеристиками среды использования и предъявляемым к изделию для повышения эффективности взаимодействия человека с данным изделием.

Эстетические показатели – показатели, характеризующие информационную выразительность, рациональность формы, целостность композиции, гармоничность, стабильность товарного вида и др.

Показатели технологичности характеризуют приспособленность продукции к изготовлению, эксплуатации и ремонту с минимальными затратами при заданных показателях качества.

Показатели стандартизации и унификации характеризуют степень использования стандартных и унифицированных элементов в конструкции изделий.

Патентно-правовые показатели характеризуют патентную чистоту и патентную защиту продукции и являются существенным фактором при определении ее конкурентоспособности.

Экологические показатели характеризуют особенности продукции, определяющие уровень вредных воздействий на окружающую среду, возникающих при эксплуатации или потреблении продукции.

Показатели безопасности характеризуют особенности продукции, обуславливающие при ее эксплуатации или потреблении безопасность человека (обслуживающего персонала), а также связанные с обеспечением безопасных условий ее производства, обращения, эксплуатации и восстановления.

Показатели транспортабельности характеризуют приспособленность изделия к перемещению с помощью различных транспортных средств к месту его использования по назначению.

По количеству характеризующих свойств показатели качества могут быть единичными, комплексными и интегральными [7].

Единичный показатель – характеризует одно из свойств продукции, например, массу, скорость, мощность и пр.

Комплексный показатель – характеризует несколько свойств продукции, например, коэффициент готовности, который характеризует два свойства изделия – безотказность и ремонтнопригодность.

Интегральный показатель – комплексный показатель, равен отношению суммарного полезного эффекта от эксплуатации изделия к суммарным затратам на создание и эксплуатацию изделия:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{Z_c + Z_{\mathcal{E}}},$$

где \mathcal{E} – суммарный полезный эффект от эксплуатации изделия; Z_c – суммарные затраты на создание изделия; $Z_{\mathcal{E}}$ – суммарные затраты на эксплуатацию изделия.

Показатели качества могут быть выражены в *натуральных* (кг, м и др.) и *обобщенных* единицах (единицы трудоемкости, материалоемкости, стоимости и т. п.).

По стадиям определения значений показатели качества могут быть:

- прогнозируемые,
- проектные,
- производственные,
- эксплуатационные.

Показатели качества используются при оценке качества продукции.

Оценка качества продукции – совокупность операций, включающая выбор номенклатуры показателей качества оцениваемой продукции, определение значений этих показателей и сопоставление их с *базовыми*.

Результаты оценки качества продукции зависят от выбранного метода определения значений показателей качества.

В соответствии с требованиями нормативной документации в области качества при оценке продукции и процессов используются следующие понятия [12]:

- *несоответствие* – невыполнение установленных требований;
- *дефект* – невыполнение предполагаемого потребительского требования.

Методы определения показателей качества делятся на две группы.

1) *По способу получения информации*:

- *измерительный метод* – метод определения значений показателей качества продукции, осуществляемый на основе технических средств измерений;
- *регистрационный метод* – метод определения значений показателей качества продукции, осуществляемый на основе наблюдения и подсчета числа определенных событий, предметов или затрат;
- *расчетный метод* – метод определения значений показателей качества продукции, осуществляемый на основе использования теоретических и (или) эмпирических зависимостей показателей качества продукции от ее параметров;

- *органолептический метод* – метод определения значений показателей качества продукции, осуществляемый на основе анализа восприятий органов чувств.

2) *По источникам получения информации:*

- *традиционный метод* – метод определения значений показателей качества продукции, основанный на использовании информации специальных служб, подразделений предприятия (лабораторий, отделов, испытательных центров и др.), осуществляющих отбор, систематизацию, обработку, анализ и представление информации, необходимой для принятия решений;

- *экспертный метод* – метод определения значений показателей качества продукции, осуществляемый на основе решения, принимаемого экспертами;

- *социологический метод* – метод определения значений показателей качества продукции, осуществляемый на основе сбора и анализа мнений ее фактических или возможных потребителей.

При оценке качества продукции используются следующие методы:

- *дифференциальный метод* – метод оценки качества продукции, основанный на использовании единичных показателей ее качества;

- *комплексный метод* – метод оценки качества продукции, основанный на использовании комплексных показателей ее качества;

- *смешанный метод* – метод оценки качества продукции, основанный на одновременном использовании единичных и комплексных показателей ее качества;

- *статистический метод* – метод оценки качества продукции, при котором значения показателей качества продукции определяют с использованием правил математической статистики.

2.2. Виды технического контроля

Техническим контролем называется проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям.

Вид контроля – классификационная группировка контроля по определенному признаку.

Виды контроля классифицируются следующим образом [8].

В зависимости от стадии существования продукции:

- *производственный* – контроль, осуществляемый на стадии производства;

- *эксплуатационный* – контроль, осуществляемый на стадии эксплуатации.

В зависимости от этапа процесса производства:

- *входной* – контроль продукции поставщика, поступившей к потребителю или заказчику и предназначенной для использования при изготовлении, ремонте или эксплуатации продукции;

- *операционный* – контроль продукции или процесса во время выполнения или после завершения технологической операции;

- *приемочный* – контроль продукции, по результатам которого принимается решение о ее пригодности к поставкам и (или) использованию;

- *инспекционный* – контроль, осуществляемый специально уполномоченными лицами с целью проверки эффективности ранее выполненного контроля.

В зависимости от применяемых средств контроля:

- *визуальный* – органолептический контроль, осуществляемый органами зрения;

- *органолептический* – контроль, при котором первичная информация воспринимается органами чувств;

- *измерительный* – контроль, осуществляемый с применением средств измерений;

- *регистрационный* – контроль, осуществляемый регистрацией значений контролируемых параметров продукции или процессов;

- *технический осмотр* – контроль, осуществляемый в основном при помощи органов чувств и, в случае необходимости, средств контроля, номенклатура которых установлена соответствующей документацией.

В зависимости от объема проверяемых объектов:

- *сплошной* – контроль каждой единицы продукции в партии;

- *летучий* – контроль, проводимый в случайное время;

- *непрерывный* – контроль, при котором поступление информации о контролируемых параметрах происходит непрерывно;

- *периодический* – контроль, при котором поступление информации о контролируемых параметрах происходит через установленные интервалы времени;

- *выборочный* – контроль одной или нескольких выборок из партии или потока продукции.

По характеру воздействия на объект контроля:

- *разрушающий* – после проведения контроля продукция становится непригодной к дальнейшему использованию по назначению;

- *неразрушающий* – продукция может быть использована по назначению.

По характеру воздействия на ход процесса:

- *активный контроль* – полученные результаты используются для непрерывного управления процессом изготовления с целью улучшения качества изделия;

- *пассивный контроль* – только фиксируется результат (бракованные изделия).

2.3. Управление качеством

Качество продукции обеспечивается путем целенаправленной деятельности, осуществляемой в рамках системы управления качеством и затрагивающей все стадии жизненного цикла продукции.

Система управления качеством – совокупность управляющих органов и объектов управления, взаимодействующих с помощью материально-технических и информационных средств при управлении качеством продукции.

Развитие систем обеспечения качества продукции можно разделить на четыре этапа [3, 4]:

- 1) контроль качества продукции (1900 – 1920-е гг.);
- 2) управление качеством производства (1920 – 1950-е гг.);
- 3) обеспечение качества продукции (1950 – 1980-е гг.);
- 4) всеобщий менеджмент качества (1980-е гг. – по настоящее время).

На *первом этапе* качество продукции обеспечивалось *выявлением* дефектов и бракованных деталей после изготовления при приемочном контроле. Проверка осуществлялась в соответствии с ТУ специалистами в области контроля – контролерами. Система предусматривала штрафы за дефекты и брак, а также увольнение.

На *втором этапе* стали уделять внимание стабильности выполнения производственных процессов как основному фактору, влияющему на качество продукции. Были разработаны статистические методы контроля продукции и стабильности производственных процессов. Системы качества усложнились, так как в них были включены службы, использующие статистические методы. Появились специалисты – инженеры по качеству, которые анализировали качество и дефекты изделий с помощью статистических методов, проверяли стабильность выполнения технологических процессов. Управление качеством продукции выполнялось в процессе производства, и основной целью являлось *предупреждение* появления дефектов.

На *третьем этапе* была разработана концепция *всеобщего контроля качества* (TQC – Total Quality Control). Системы TQC развивались с использованием статистических методов и вовлечением персонала для решения вопросов обеспечения высокого качества продукции. На этом этапе появились документированные системы качества, устанавливающие ответственность и полномочия, а также взаимодействие в области качества всего руководства предприятия, а не только специалистов служб качества. Все большее внимание уделялось учебе персонала. Больше уделялось внимания документированию систем обеспечения качества и их регистрации или сертификации третьей (независимой) стороной. Системы взаимоотношений "поставщик-потребитель" также начинают предусматривать сертификацию продукции третьей стороной. При этом более серьезными стали

требования к качеству в контрактах, более ответственными гарантии их выполнения.

Основная цель системы управления качеством – *достижение* высокого качества и *поддержка* качества на всем жизненном цикле изделия.

На *четвертом этапе* система всеобщего контроля качества стала преобразовываться в систему *всеобщего менеджмента качества* (TQM – Total Quality Management).

Всеобщий менеджмент качества – подход к управлению организацией, нацеленный на качество, основанный на участии всех ее членов и направленный на достижение долгосрочного успеха путем удовлетворения требований потребителя и выгоды для членов организации и общества.

Если TQC – это управление качеством с целью выполнения установленных требований, то TQM – включает еще управление целями и самими требованиями.

Основная цель системы TQM – *постоянное совершенствование* качества.

TQM является комплексной системой, предусматривающей всестороннее целенаправленное и скоординированное применение методов управления качеством во всех сферах деятельности от исследований и разработок до послепродажного обслуживания при активном участии руководителей всех уровней и при рациональном использовании технических возможностей.

Всеобщее управление качеством – конкретная технология руководства всеми процессами повышения качества. Она состоит из трех частей:

- 1) базовой системы;
- 2) системы технического обеспечения;
- 3) системы совершенствования и развития всеобщего управления качеством.

Базовая система – это средства, которые применяются для анализа и исследования. Они основаны на использовании общепризнанного математического аппарата и статистических методах контроля.

Система технического обеспечения – это приемы и программы, позволяющие обучить персонал владению этими средствами и правильному их применению.

Система совершенствования и развития принципов и содержания TQM предполагает адаптацию научных подходов, экономических законов функционирования рыночных отношений, законов организации, структуры и принципов управления качеством к конкретным требованиям и условиям рынка.

Методические рекомендации по постоянному улучшению системы менеджмента качества предполагают последовательное применение цикла Шухарта-Деминга.

Цикл Шухарта-Деминга (цикл PDCA) представляет собой циклическую модель управления, которая состоит из четырех последовательно применяемых процессов: планируй (*Plan*), выполняй (*Do*), проверь (*Check*), корректируй (*Action*). После завершения цикла PDCA переходят к составлению нового плана, в который вносят исправления, и цикл повторяется до совпадения результатов с планом.

Принципы системы TQM рассматриваются в [4, 31].

Развитие систем управления качеством в разных странах осуществлялось неравномерно, каждая система имела особенности, например в применении статистических методов контроля, обучении и привлечении персонала к работе по повышению качества, документировании систем качества т. д.

Использование передового опыта в области качества, интеграция мирового производства, повышение требований потребителей и другие факторы и привели к созданию TQM.

В советский период в России также был разработан ряд систем качества, в которых были реализованы передовые методы обеспечения высокого качества продукции, разработанные зарубежными и отечественными учеными. Примером таких систем являются: Саратовская система бездефектного изготовления продукции (БИП), Горьковская система КАНАР-СПИ (качество, надежность, ресурс с первых изделий), БСТ (бездефектная система труда), КСУКП (комплексная система управления качеством продукции) и др.

Специфика управления качеством в СССР заключалась в том, что эффективные системы качества создавались в основном на предприятиях военно-промышленного комплекса (ВПК). Несмотря на то, что авиационная и другая техника ВПК создавалась на достаточно высоком техническом уровне, в других областях продукция часто не соответствовала мировому уровню, это объясняется отсутствием конкуренции, ориентации на выполнение требований потребителя и другими причинами.

Зарубежными учеными, занимавшимися проблемами управления качеством и создавшими базу для их решения, являются Ф. Тейлор, У. Шухарт, Э. Деминг, А. Фейгенбаум, Дж. Джуран, Ф. Кросби, Дж. Харрингтон, К. Исикава, Г. Тагути, С. Синго.

Значительный вклад в развитие теории и практики управления качеством внесли также и отечественные ученые: А. К. Гастев, В. В. Бойцов, А.В. Гличев, Г. Г. Азгальдов, Б. В. Бойцов, Ю. П. Адлер, В. В. Окрепилов, Т. Ф. Сейфи и др.

А. К. Гастев в 1920-30 гг. возглавлял исследования в области научной организации труда и методологии разработки стандартов, их обоснования и классификации.

В. В. Бойцов разработал теоретические и методологические основы управления качеством на жизненном цикле изделий. Является одним из создателей современной отечественной государственной системы стандартизации. На посту президента Международной организации по стандартизации (1977-1984 гг.) был одним из инициаторов и участников создания системы стандартов ISO серии 9000, регламентирующих требования к системам качества.

А. В. Гличев является одним из создателей теории управления качеством. Возглавлял группу ученых, разработавших основы комплексной системы управления качеством продукции и осуществлявших её практическое внедрение на предприятиях СССР. Совместно с Г. Г. Азгальдовым и другими учеными работал над проблемами измерения и оценки качества продукции, что легло в основу квалиметрии – новой ветви науки о качестве. Избирался президентом Европейской организации качества (ЕОК).

В авиационной промышленности на основе опыта использования отечественных систем, анализа зарубежных систем, создания высококачественной авиатехники была разработана отраслевая КСУКП, которая предусматривала обеспечение высокого качества изделий за счет [15, 25]:

- обеспечения качества на этапе выполнения НИОКР (научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ);
- опережающей сертификации материалов, ПКИ и самолета;
- обеспечения качества на этапе серийного производства;
- обеспечения качества на этапе эксплуатации.

Отраслевая система качества предусматривает мониторинг технологических процессов, использование показателей качества заготовок, деталей и др. [15].

В настоящее время в связи с широким использованием информационных технологий отраслевая система качества представляет собой комплексную интегрированную систему.

В соответствии с требованиями выпуска конкурентоспособной на мировом и внутренних рынках авиационной техники каждое самолетостроительное предприятие обеспечивает высокое качество продукции на основе менеджмента качества и использования системы менеджмента качества.

Менеджмент качества – скоординированная деятельность по руководству и управлению организацией применительно к качеству.

Руководство и управление применительно к качеству включает разработку политики и целей в области качества, планирование качества, управление качеством, обеспечение качества и улучшение качества.

Политика в области качества – общие намерения и направления деятельности организации в области качества, официально сформулированные высшим руководством.

Цели в области качества – цели, которых добиваются или к которым стремятся в области качества.

Планирование качества – часть менеджмента качества, направленная на установление целей в области качества и определяющая необходимые операционные процессы жизненного цикла продукции и соответствующие ресурсы для достижения целей в области качества.

План качества – документ, определяющий, какие процедуры и соответствующие ресурсы, кем и когда должны применяться к конкретному проекту, продукции, процессу или контракту.

Управление качеством – часть менеджмента качества, направленная на выполнение требований к качеству.

Обеспечение качества – часть менеджмента качества, направленная на создание уверенности, что требования к качеству будут выполнены.

Улучшение качества – часть менеджмента качества, направленная на увеличение способности выполнить требования к качеству.

Система менеджмента качества (СМК) – система для руководства и управления организацией применительно к качеству.

Документация СМК должна включать документально оформленные заявления о политике и целях в области качества, руководство по качеству, документы, необходимые организации для обеспечения эффективного планирования, осуществления процессов и управления ими.

Руководство по качеству – документ, определяющий СМК организации.

Продуманная политика, организационная структура, системы документации и моделей деятельности всех работающих (от высшего руководства до рабочих) позволяют обеспечить:

- потребителям качество продукции и услуг;
- работникам предприятия безопасные рабочие места, удовлетворение работой и карьеру;
- оборот инвестиций;
- субпоставщикам постоянные деловые контакты;
- обществу ответственное руководство в области защиты окружающей среды и безопасности.

Общие принципы обеспечения качества на каждом рабочем месте позволяют:

- определить требования к выполняемой работе;
- обеспечить знания требований лицами, выполняющими работу;
- обеспечить поддержку, необходимую для соблюдения требований;
- контролировать соблюдение требований;
- обеспечить обратную связь и при необходимости пересмотр требований к выполняемой работе.

В рамках системы менеджмента качества данные принципы должны быть документально подтверждены, чтобы иметь возможность демонстрировать способности предприятия управлять качеством выпускаемой продукции.

Основой современных СМК являются восемь принципов менеджмента качества, базирующихся на концепции TQM [14]:

1) *ориентация на потребителя* – организации зависят от своих потребителей, и поэтому должны понимать их текущие и будущие потребности, выполнять их требования и стремиться превзойти их ожидания;

2) *лидерство руководителя* – руководители обеспечивают единство цели и направления деятельности организации. Им следует создавать и поддерживать внутреннюю среду, в которой работники могут быть полностью вовлечены в решение задач организации;

3) *вовлечение в процесс всех работников организации* – работники всех уровней составляют основу организации, их полное вовлечение дает возможность организации с выгодой использовать их способности;

4) *процессный подход* – желаемый результат достигается эффективнее, когда деятельностью и соответствующими ресурсами управляют как процессом;

5) *системный подход к управлению* – выявление, понимание и менеджмент взаимосвязанных процессов как системы содействуют результативности и эффективности организации при достижении ее целей;

6) *постоянное улучшение* – постоянное улучшение деятельности организации в целом следует рассматривать как ее неизменную цель;

7) *принятие решений, основанных на фактах*, – эффективные решения основываются на анализе данных и информации;

8) *взаимовыгодные отношения с поставщиками* – организация и ее поставщики взаимозависимы, и отношения взаимной выгоды повышают способность обеих сторон создавать ценности.

Стандарт ISO 9001:2008 требует шесть обязательных документированных процедур для выполнения следующих процессов:

- 1) управления документацией и записями СМК;
- 2) регистрации качества;
- 3) внутреннего аудита;
- 4) управления несоответствующей продукцией;
- 5) корректирующих действий;
- 6) предупреждающих действий.

Для реализации требований стандартов серии ISO 9001:2008 необходимы следующие документы СМК.

- 1) Ответственность руководства. Политика и цели в области качества.
- 2) Руководство по качеству.

3) Документированные процедуры (шесть обязательных процедур и дополнительно к ним процедуры, описывающие ключевые процессы предприятия).

4) Стандарты предприятия (описывающие как выполнять операции или группу операций процедуры).

5) Первичные регистрирующие документы, регистрационные записи по качеству, программы качества, планы качества, положения о подразделениях, должностные инструкции, рабочие инструкции, методики и др.

Документированная процедура – документ, который содержит процедуру, устанавливающую способ осуществления деятельности или процесса.

Процедура – точно определенный способ выполнения какой-либо деятельности или процесса.

Документированной процедурой устанавливается порядок управления записями.

Запись – вид документа, содержащий данные о достигнутых результатах или свидетельства осуществления деятельности (акты, ведомости, планы, отчеты и т.д.). Правила выполнения записей для всех процессов СМК устанавливаются в стандартах предприятия, документированных процедурах и рабочих инструкциях.

Статистические методы управления качеством

Важнейшее требование к системам качества – активное использование *статистических методов* для принятия обоснованных решений на всех этапах жизненного цикла продукции. Наиболее широкое применение статистические методы находят на этапах производства и контроля готовой продукции.

Статистические методы управления качеством обеспечивают возможность обнаружения отклонения от технологического процесса не тогда, когда вся партия изготовлена, а в процессе производства (когда можно своевременно вмешаться в процесс и скорректировать его).

Областями применения статистических методов являются:

1) *статистический анализ точности и стабильности технологического процесса* – это установление статистическими методами значений показателей точности и стабильности технологического процесса и определение закономерностей его протекания во времени;

2) *статистическое регулирование технологического процесса* – это корректирование значений параметров технологического процесса по результатам выборочного контроля контролируемых параметров, осуществляемое для технологического обеспечения требуемого уровня качества продукции;

3) *статистический приемочный контроль качества продукции* – это контроль, основанный на применении методов математической статистики для проверки соответствия качества продукции установленным требованиям и принятия продукции;

4) *статистический метод оценки качества продукции* – это метод, при котором значения показателей качества продукции определяют с использованием правил математической статистики.

Цель применения статистических методов анализа – выявление степени влияния случайных и (или) закономерных факторов на показатели качества.

Если влияние факторов случайного характера является преобладающим, считается, что технологический процесс статистически управляемый и использование статистических методов контроля становится возможным.

Если в технологическом процессе преобладают факторы неслучайного характера, то процесс называется статистически неуправляемым, и тогда применение статистических методов становится невозможным до выявления причин и минимизации степени влияния неслучайных факторов. После чего вновь повторяют процедуру статистического анализа вплоть до достижения статистической управляемости процесса.

Статистическое регулирование технологических процессов производится по количественному, качественному или альтернативному признакам. В первом случае основанием для принятия решения о вмешательстве в ход технологического процесса для его наладки служит несоответствие количественных значений параметров качества требованиям; во втором – соотношение между численностью объектов в нескольких, заранее установленных группах изделий, отличающихся по качеству; в третьем – соотношение числа годных и негодных изделий в выборке [20].

Приемочному контролю подвергается продукция, по которой завершены все или часть технологических операций и когда необходимо принять решение о ее годности. Он применяется при входном приемочном и инспекционном контроле, при периодических, типовых испытаниях, проводимых по требованию заказчика.

Сущность приемочного контроля заключается в том, что по результатам ограниченного числа проверок или контроля части изделий (выборки) принимается решение о качестве (приемке или браковке) всей партии в целом.

Различают четыре основных метода приемочного контроля: одноступенчатый, двухступенчатый, многоступенчатый и последовательный.

При *одноступенчатом контроле* решение о приемке партии изделий принимают по результатам контроля только одной выборки. Его применяют тогда, когда стоимость контроля небольшая, продолжительность испы-

таний большая, а партия изделий не может быть задержана до окончания контроля.

При *двухступенчатом контроле* решение о приемке партии изделий принимают по результатам контроля не более двух выборок, необходимость контроля второй определяется по результатам контроля первой выборки. Применяют в случае, когда одноступенчатый контроль не используется из-за большого объема выборки, а многоступенчатый – из-за большой продолжительности.

При *многоступенчатом контроле* решение принимают по результатам контроля нескольких заранее установленных выборок, необходимость отбора каждой последующей принимается по результатам контроля предыдущей. Этот план контроля применяют при большой стоимости испытаний и небольшом времени на отбор выборок.

Последовательный контроль отличается от многоступенчатого тем, что максимальное количество выборок заранее не устанавливают. Его применяют при небольшом объеме выборки и малой стоимости отбора в выборку.

Статистические методы оценки качества – методы прикладной статистики, применяемые при определении значений показателей качества продукции и процессов, влияющих на ее качество; планировании качества; разработке нормативов, закладываемых в технические требования, оценки поставщика и др.

Статистические методы, используемые в системах качества, принято делить на три группы [17].

1) К элементарным методам относятся так называемые "Семь простых инструментов качества":

- *контрольные листки* – предназначены для сбора данных. В них заносится информация о контролируемом параметре, или дефектах изделия, или о причинах дефектов и т. д. Контрольные листки могут применяться как при контроле по качественным, так и при контроле по количественным признакам;

- *гистограмма* – столбиковые диаграммы, показывающие количественную оценку частоты попадания зарегистрированных событий в установленные интервалы. По виду гистограммы можно анализировать форму и параметры распределения, однородность зарегистрированных данных.

Гистограммы используются для представления структуры и характера изменчивости данных, которые трудно заметить при их табличном представлении;

- *причинно-следственная диаграмма* (диаграмма Исикавы) – отображает зависимость между следствием и его потенциальными причинами (причинно-следственный анализ). Используется для определения и структурирования факторов, влияющих на процесс;

- *диаграмма Парето* – обеспечивает простой графический способ классификации причин от наиболее до наименее важных;
- *диаграмма рассеяния (разброса)* – представляет собой графическое отображение взаимосвязи между различными видами данных. Используется для качественной оценки взаимосвязи между данными;
- *расслоение (стратификация) данных* – представляет собой группировку данных в зависимости от источников и условий их получения. Расслоение помогает выявить причину появления дефекта, если обнаруживается различие данных между "слоями" (стратами);
- *контрольная карта* – является графическим представлением данных из выборки, которые периодически берутся и наносятся на график через определенные промежутки времени. Нанесенные на график данные сравниваются с контрольными границами. Точка графика, находящаяся вне области контрольных границ, дает сигнал о возможном изменении процесса. Наиболее широко используемый вид контрольных карт – карты Шухарта.

Простые методы предназначены для анализа и контроля качества непосредственно на рабочем месте и ориентированы в первую очередь на работников, не имеющих специального образования.

2) Промежуточные методы:

- *методы приемочного контроля* – заключаются в том, что на основе ограниченного числа проверок или контроля части изделий (выборки) с требуемой точностью принимается решение о качестве всей партии изделий. Применяются контроль по альтернативному признаку, контроль по количественному признаку;
- *методы теории распределения* – используются биномиальный, гипергеометрический, Пуассона, нормальный законы распределения и др.;
- *статистические оценки и критерии* – применяются экспертные методы, дисперсионный анализ, корреляционный анализ, регрессионный анализ, критерии значимости и согласия.

3) К передовым методам относятся следующие методы:

- *планирование эксперимента* – для оценки качества применяются методы многофакторного эксперимента;
- *многомерный анализ* – используются многомерные контрольные карты, в которых учитывается то обстоятельство, что в выборке имеется более чем одна переменная, коррелированная с наблюдениями других переменных. Предполагается, что данные подчиняются многомерному нормальному распределению;
- *методы исследования операций* – применяются математические модели принятия оптимальных решений.

В настоящее время разработаны универсальные и специальные программные системы, в которых реализованы функции построения гистограмм, контрольных карт и т.д. В электронных таблицах *Excel* имеются функции для статистического анализа. Система *Statistica* имеет набор специальных модулей: "Контрольные карты", "Анализ процессов" и "Планирование эксперимента". К специальным относятся отечественные программные системы: *Attestator* – система для анализа и аттестации технологических процессов и оборудования, *Regulator* – система для оперативного регулирования технологических процессов, *Plank* – система для разработки планов выборочного контроля, *QStat* – система для статистического контроля партий продукции по альтернативному признаку и др.

Для управления качеством используются следующие методы [4]:

- *диаграммы сродства* – служат для определения причин нарушения процесса и их систематизации для облегчения поиска мер, направленных на их исключение;

- *диаграмма связей* – инструмент, позволяющий выявить логические связи между основной идеей и различными данными. Задачей этого инструмента управления служит установление соответствия основных причин нарушения процесса тем проблемам, которые требуют решения, с использованием диаграммы сродства;

- *древовидная диаграмма* – используется в качестве метода системного определения оптимальных средств решения возникших проблем, и строится в виде многоступенчатой древовидной структуры, элементами которой являются различные средства и способы решения;

- *матричная диаграмма* – выражает соответствие определенных факторов и явлений различным причинам их появления и средствам устранения их последствий, а также степень взаимных зависимостей этих факторов причин их возникновения и мер по их устранению. Целью матричной диаграммы является изображение контура связей и корреляций между задачами, функциями и характеристиками с выделением их относительной важности. Такие матричные диаграммы называются матрицами связей;

- *стрелочная диаграмма* – используется на этапе составления оптимальных планов тех или иных мероприятий после того, как определены проблемы, требующие решения, разработаны необходимые меры, определены сроки и намечен ход осуществления запланированных мер, т.е. после составления первых четырех диаграмм;

- *диаграмма процесса осуществления программы* – применяется для оценки сроков и правильности осуществления программы и возможности корректирования тех или иных мероприятий в ходе их выполнения в соответствии со стрелочной диаграммой при решении сложных проблем в области научных разработок, при постоянном проявлении брака и т.д.;

- *анализ матричных данных (матрица приоритетов)* – является графическим представлением данных в нескольких двухмерных плоскостях. Анализ матричных данных соответствует методу анализа составляющих, типичным примером которого является метод многофакторного анализа.

Около 80 % всех дефектов, которые выявляются в процессе производства и использования изделий, обусловлены недостаточным качеством процессов разработки концепции изделия, конструирования и подготовки его производства. Около 60 % всех сбоев, которые возникают во время гарантийного срока изделия, имеют свою причину в ошибочной, поспешной и несовершенной разработке. По данным исследовательского отдела фирмы Дженерал Моторс (США), при разработке и производстве изделия действует *правило десятикратных затрат* – если на одной из стадий жизненного цикла изделия допущена ошибка, которая выявлена на следующей стадии, то для ее исправления потребуется затратить в 10 раз больше средств, чем если бы она была обнаружена вовремя. Если она была обнаружена через одну стадию, то уже в 100 раз больше, через две стадии – в 1000 раз и т.д.

Для того чтобы снизить затраты, учесть в большей степени пожелания потребителей и сократить сроки разработки и выхода на рынок продукции, применяют специальные технологии разработки и анализа изделий и процессов [3, 4]:

- технологию развертывания функций качества (QFD – Quality Function Deployment) – технологию проектирования изделий и процессов, позволяющую преобразовывать пожелания потребителя в технические требования к изделиям и параметрам процессов их производства. Русскоязычное определение – структурирование функции качества (СФК);

- функционально-стоимостный анализ (ФСА) – технологию анализа затрат на выполнение изделием его функций; ФСА проводится для существующих продуктов и процессов с целью снижения затрат, а также для разрабатываемых продуктов с целью снижения их себестоимости;

- функционально-физический анализ (ФФА) – технологию анализа качества предлагаемых проектировщиком технических решений, принципов действия изделия и его элементов; ФФА проводится для разрабатываемых продуктов и процессов;

- FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – технологию анализа возможности возникновения дефектов и их влияния на потребителя. FMEA (русскоязычное понятие АВПО – анализ видов и последствий отказов) проводится для разрабатываемых продуктов и процессов, позволяет выявить именно те дефекты, которые обуславливают наибольший риск потребителя, определить их потенциальные причины и выработать корректирующие действия по их устранению еще до того, как эти дефекты проявят-

ся. В настоящее время проведение АВПО регламентировано межгосударственным и национальными стандартами РФ.

При обеспечении качества продукции в мировой практике в настоящее время используют методы Г. Тагути [4, 17].

При традиционном подходе к контролю качества предполагается, что контролируемый показатель, лежащий в пределах допуска, обеспечивает необходимое качество изделия. Г. Тагути предложил учитывать потери качества, связанные не только с выходом показателя за пределы допуска, но и с отклонением этого показателя от номинального значения, даже если это отклонение оказывается в пределах допуска. То есть потери качества отсутствуют только в том случае, когда фактическое значение показателя точно соответствует номинальному. Чем больше фактическое значение отличается от номинального, тем выше экономические потери и ниже качество. Тагути предположил, что величина этих потерь пропорциональна квадрату отклонения показателя качества от номинала. Минимум квадратичной функции потерь имеет место в номинале, максимум – на границах поля допуска.

Второе предложение Тагути состоит в том, что разрабатываемая продукция и процессы должны обладать устойчивостью (*робастностью*) по отношению к возможным воздействиям (шумам), т. е. следует определить такие сочетания параметров, при которых разброс значений показателя относительно номинального значения будет минимальным. С экономической точки зрения, любые, даже самые малые, шумы приводят к росту затрат на производство и гарантийное обслуживание изделий.

Для обеспечения минимума функции потерь и создания робастного изделия могут быть использованы методы планирования эксперимента. Факторы, влияющие на показатель качества, можно разделить на две группы: управляемые и неуправляемые. Показатель качества должен одинаково реагировать на управляемый сигнал и по возможности не реагировать на неуправляемый шум (например, случайные изменения температуры, влажности и др.). Таким образом, цель проектирования – обеспечить максимум отношения $\eta = \text{сигнал} / \text{шум}$. Это отношение является выражением квадратичной функции потерь. Для использования этого отношения в объектах разной природы предложено несколько разных вариантов вычисления значения η . При проектировании используются ортогональные планы, с помощью которых можно выявить влияние каждого фактора отдельно. В результате выявляется, на каких уровнях каждого из управляемых факторов отношение сигнал / шум максимально. Это позволяет определить оптимальные параметры, обеспечивающие выпуск качественной продукции с низкими производственными и эксплуатационными затратами.

Еще одним походом повышения качества изделий и процессов является концепция «шесть сигм», разработанная компанией Motorola. Приме-

нение концепции позволило добиться резкого снижения уровня несоответствий как в производственных процессах, так и в процессах обслуживания и управления. В концепции «шесть сигм» предполагается, что границы поля допуска удалены на шесть стандартных отклонений от целевого значения. В этом случае число несоответствий может быть равно двум случаям на миллиард. Кроме того, среднее значение может смещаться от центра в пределах допуска на полтора стандартных отклонения. В этом случае уровень несоответствий будет равен примерно 3,4 случая на миллион. Такие показатели обеспечиваются совершенствованием выполняемых процессов.

Применение концепции «шести сигм» предполагает выполнение последовательности этапов, которую обозначают DMAIC:

- D(definition) – определение; необходимо четко определить цели проекта и ожидаемый экономический эффект;
- M(measurement) – измерение; оценивается сама проблема и измеряется начальное значение параметра;
- A(analysis) – анализ; использование статистики дает полную картину проблемы;
- I(improvement) – улучшение, разработка принципиально нового решения в организации;
- C(control) – управление; встраивание этого решения в стандартную систему управления, с тем чтобы улучшение приняло необратимый характер.

2.4. Техническое регулирование, стандартизация и сертификация

Для решения вопросов безопасности продукции и услуг, производственных процессов, а также процессов реализации, хранения, перевозки, эксплуатации и утилизации продуктов труда в Российской Федерации в декабре 2002 г. был принят закон "О техническом регулировании".

Техническое регулирование – правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции или к процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также в области установления и применения на добровольной основе требований к продукции, процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области оценки соответствия [21].

В системе технического регулирования РФ применяются следующие документы:

- технические регламенты, требования которых являются *обязательными* для исполнения на территории и всеми организациями РФ;
- стандарты, устанавливающие требования, принимаемые организациями на *добровольной основе*;
- сертификаты для *оценки и подтверждения соответствия* продукции или иных объектов, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг *требованиям* технических регламентов или рекомендуемым нормам стандартов.

Технический регламент (ТР) – документ, который принят международным договором РФ, подлежащим ратификации в порядке, установленном законодательством РФ, или в соответствии с международным договором РФ, ратифицированным в порядке, установленном законодательством РФ, или федеральным законом, или указом Президента РФ, или постановлением Правительства РФ, или нормативным правовым актом федерального органа исполнительной власти по техническому регулированию и устанавливает *обязательные* для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции или к продукции и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации).

Технические регламенты принимаются в целях:

- защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;
- охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений;
- предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей, в том числе потребителей;
- обеспечения энергетической эффективности и ресурсосбережения.

Технические регламенты с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие:

- безопасность излучений;
- биологическую безопасность;
- взрывобезопасность;
- механическую безопасность;
- пожарную безопасность;
- безопасность продукции (технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте);
- термическую безопасность;

- химическую безопасность;
- электрическую безопасность;
- радиационную безопасность населения;
- электромагнитную совместимость в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования;
- единство измерений;
- другие виды безопасности.

Нормативно-правовая база обеспечения качества продукции строится с широким использованием двух развитых и широко распространяемых во всем мире систем: стандартизации и сертификации.

Стандартизация – деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг.

Согласно ФЗ "О техническом регулировании" (ст. 11) [21] к целям стандартизации относятся:

- повышение уровня безопасности жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, государственного и муниципального имущества, объектов с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, повышение уровня экологической безопасности, безопасности жизни и здоровья животных и растений;
- обеспечение конкурентоспособности и качества продукции (работ, услуг), единства измерений, рационального использования ресурсов, взаимозаменяемости технических средств (машин и оборудования, их составных частей, комплектующих изделий и материалов), технической и информационной совместимости, сопоставимости результатов исследований (испытаний) и измерений, технических и экономико-статистических данных, проведения анализа характеристик продукции (работ, услуг), исполнения государственных заказов, добровольного подтверждения соответствия продукции (работ, услуг);
- содействие соблюдению требований технических регламентов;
- создание систем классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации, систем каталогизации продукции (работ, услуг), систем обеспечения качества продукции (работ, услуг), систем поиска и передачи данных, содействие проведению работ по унификации.

Непосредственным результатом стандартизации является прежде всего документ в области стандартизации.

Согласно ФЗ "О техническом регулировании" (ст. 13) [21] к документам в области стандартизации, используемым на территории Российской Федерации, относятся:

- национальные стандарты РФ (ГОСТ Р);
- предварительные национальные стандарты;
- правила стандартизации, нормы и рекомендации в области стандартизации;
- применяемые в установленном порядке классификации, общероссийские классификаторы технико-экономической информации и социальной информации;
- стандарты организаций;
- своды правил;
- международные стандарты, региональные стандарты, региональные своды правил, стандарты иностранных государств и своды правил иностранных государств, зарегистрированные в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов;
- надлежащим образом заверенные переводы на русский язык международных стандартов, региональных стандартов, региональных сводов правил, стандартов иностранных государств и сводов правил иностранных государств, принятые на учет национальным органом Российской Федерации по стандартизации.

На предприятиях авиационной промышленности применяются отраслевые стандарты (ОСТ) и стандарты предприятий (СТП).

В ФЗ "О техническом регулировании" технические условия также не представлены как документы по стандартизации.

Технические условия (ТУ) – технический документ, который разрабатывается по решению разработчика (изготовителя) или по требованию заказчика (потребителя) продукции и является неотъемлемой частью комплекта конструкторской или другой технической документации на продукцию.

ТУ относятся к технической и нормативной документации и широко используются в отечественной практике. Около 80 % продукции в стране выпускается по ТУ [19].

ТУ выполняют роль нормативного документа в том случае, если на них делаются ссылки в договорах (контрактах).

Стандарт – документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг.

Стандарт также может содержать правила и методы исследований (испытаний) и измерений, правила отбора образцов, требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения.

Принцип добровольного применения стандарта реализуется при его выборе. Положительное решение о применении независимо от формы (ссылка в ТУ, договоре) предусматривает обязательное исполнение требований стандарта. Стандарты и своды правил в отдельных случаях (предусмотренных законодательством) могут быть документами обязательного применения [19].

В зависимости от назначения и содержания разрабатываются стандарты следующих видов:

- *основополагающие* – имеющие широкую область распространения или содержащие общие положения для определенной области;
- *на продукцию и услуги* – устанавливающие требования к продукции (услуге);
- *на работы (процессы)* – устанавливающие требования к выполнению различного рода работ на отдельных этапах жизненного цикла продукции;
- *на методы контроля* – устанавливающие методы, порядок проведения проверки качества продукции;
- *на термины и определения* – устанавливающие термины, к которым даны определения, содержащие необходимые и достаточные признаки понятия.

Стандарты образуют системы (комплексы), охватывающие определенные направления деятельности. В каждом направлении стандарта также можно выделить в группы. Например, система стандартов технической подготовки производства, в которую входят: Система разработки и постановки продукции на производство (СРПП); Единая система конструкторской документации (ЕСКД); Единая система технологической документации (ЕСТД). Разработаны и продолжена работа по разработке стандартов информационного сопровождения на всех этапах жизненного цикла изделия. Стандарты ЕСКД переработаны с учетом выполнения работ по проектированию изделий в электронном виде.

Особое значение в современных условиях имеют стандарты, устанавливающие требования к системам управления качеством.

Международная организация по стандартизации в 1987 г. на основе мирового опыта в области систем качества выпустила первую версию стандартов – стандарты ISO серии 9000. В 1994 г. вышла более совершенная версия таких стандартов. Целью этой версии являлось достижение удовлетворенности потребителя посредством предупреждения выпуска несоответствующей продукции. При этом система качества рассматривалась как средство, обеспечивающее соответствие продукции установлен-

ным требованиям. Однако и эта версия данных стандартов содержала недостатки. Кардинальное совершенствование данной серии стандартов произошло в 2000 г. Стандарт ISO 9000:2005 содержит концепцию менеджмента качества и терминологию. Стандарт ISO 9001:2008 устанавливает требования к системам качества и применяется для целей подготовки к сертификации и аудиту. Стандарт ISO 9004:2000 содержит методические указания по улучшению деятельности предприятия. На базе этих стандартов созданы государственные стандарты РФ.

Важным элементом системы обеспечения качества авиационной техники является сертификация.

Сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров.

Сертификация может иметь обязательный или добровольный характер.

Обязательная сертификация осуществляется органом по сертификации на основании договора с заявителем. Схемы сертификации, применяемые для сертификации определенных видов продукции, устанавливаются соответствующим техническим регламентом. Круг заявителей устанавливается соответствующим техническим регламентом.

Орган по сертификации – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, аккредитованные в установленном порядке для выполнения работ по сертификации.

Добровольная сертификация проводится по инициативе заявителей в целях подтверждения соответствия продукции (услуг) национальным стандартам, стандартам организаций, системе добровольной сертификации, условиям договоров. Добровольная сертификация проводится на условиях договора между заявителем и органом по сертификации.

Система сертификации – совокупность правил выполнения работ по сертификации, ее участников и правил функционирования системы сертификации в целом.

При положительных итогах сертификации на объект выдается сертификат.

Сертификат соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров.

Международная организация гражданской авиации (ИКАО), одной из главных задач которой является обеспечение безопасности полетов, установила, что страны, входящие в ИКАО, должны выдавать зарегистрированным у них самолетам, выполняющим международные рейсы, сертификат, гарантирующий их соответствие *Нормам летной годности* (НЛГ) и установленному уровню безопасности [15].

Сравнительная оценка НЛГ стран с наиболее развитой авиационной промышленностью – России, США, Англии и Франции – свидетельствует о том, что они определяют практически одинаковый уровень летной годности гражданских самолетов.

В связи с необходимостью сертификации отечественной авиационной техники зарубежными авиационными организациями для ее поставок на экспорт, актуальным стал вопрос о соответствии отечественных НЛГ требованиям зарубежных документов, в частности, США (FAR) и европейских (JAR).

С 1990 г. была начата работа по сближению НЛГ России с НЛГ США и Западной Европы по структуре и содержанию требований с учетом обеспечения конкурентоспособности отечественных воздушных судов (ВС).

В настоящее время созданы *Авиационные правила* (АП), определяющие требования к летной годности, сертификации ВС, защите окружающей среды от воздействия авиации.

Нумерация частей АП аналогична нумерации соответствующих частей FAR:

- АП-21 – Процедуры сертификации авиационной техники;
- АП-23 – Нормы летной годности гражданских легких самолетов;
- АП-25 – Нормы летной годности самолетов транспортной категории;
- АП-ОЛС – Нормы летной годности очень легких самолетов;
- АП-33 – Нормы летной годности двигателей воздушных судов и др.

Сертификация производства авиационной техники является неотъемлемой частью ее системы сертификации и обеспечивает контроль соответствия условий производства требованиям, заложенным в документации на типовую конструкцию изделия.

Основным документом, определяющим порядок сертификации и содержащим требования к производству воздушных судов, являются *Авиационные правила*, часть 21, разделы F и G (АП-21 F, АП-21 G).

Авиационные правила АП-21 F разрешают производство при наличии только *сертификата типа*. Предполагается, что система качества у изготовителя не развернута в полном объеме, ограничена в виде системы контроля производства, поэтому предусмотрена приемка каждого экземпляра представителем авиационных властей.

Авиационные правила АП-21 G устанавливают, что система качества производства развернута в полном объеме и отвечает требованиям сертифицированного производства, на что выдается свидетельство об одобрении или сертификат.

Таким образом, система сертификации типа ВС и его производства – это единая система, представляющая собой последовательное выполнение процедур по аттестации производства (выявление потенциальных возмож-

ностей производства), сертификации производства, включая сертификацию системы менеджмента качества согласно международным стандартам ISO серии 9000.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию "качество продукции".
2. Назовите этапы жизненного цикла изделия.
3. На какие группы делятся показатели качества?
4. Что характеризует комплексный показатель качества?
5. Назовите этапы развития систем управления качеством.
6. Дайте определение понятию "система менеджмента качества".
7. Назовите восемь принципов менеджмента качества.
8. Дайте определение понятию "техническое регулирование".
9. Назовите цели технических регламентов.
10. Назовите цели стандартизации.
11. Назовите документы по стандартизации.
12. Дайте определение понятию "сертификат соответствия".

3. ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ПЛАНЕРА

3.1. Основные понятия и определения

Одним из основных показателей качества самолета является точность размеров и форм агрегатов планера самолета [1, 5, 24, 29].

Точность размеров – степень соответствия действительного значения проектному (заданному) значению размера.

При проектировании самолета в конструкторской документации и технических требованиях задаются допуски на *отклонения действительных контуров* агрегатов от теоретических контуров.

Поверхности агрегатов планера самолета делятся на аэродинамические зоны:

I зона – носовые части крыла и его агрегатов, оперения и его агрегатов, фюзеляжа, мотогондолы и др.;

II зона – средние части крыла, оперения, фюзеляжа и др.;

III зона – хвостовые части крыла, оперения, фюзеляжа и др.

Деление контура крыла на аэродинамические зоны представлено на рис. 3.1.

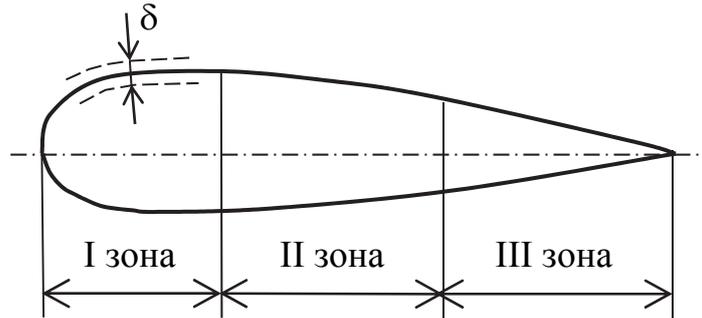


Рис. 3.1. Деление контура крыла на аэродинамические зоны

В зависимости от типа и скорости самолета для определенной аэродинамической зоны каждого агрегата устанавливаются значения отклонений действительного контура δ от теоретического контура (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Отклонения теоретического контура агрегатов δ , мм

Скорость самолета, М	Крыло			Фюзеляж	
	I зона	II зона	III зона	I зона	II зона
До 0,75	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	$\pm 3,0$	$\pm 2,0$	$\pm 3,0$
0,75...1,0	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$	$\pm 2,0$	$\pm 1,5$	$\pm 2,0$
1,0...1,75	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	$\pm 1,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$
1,75...3,0	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,2$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$

Регламентируются также допускаемые значения других геометрических параметров: зазоров, ступенек, отклонения формы и шероховатость поверхности, углов установки и т. п.

Изготовление деталей, узлов и агрегатов, а также всей конструкции в целом с заданной степенью точности позволяет обеспечивать:

- 1) качественное выполнение самолетом своих функций;
- 2) быструю и качественную сборку самолета;
- 3) широкую специализацию и кооперацию;
- 4) взаимозаменяемость узлов и агрегатов при ремонте и эксплуатации самолета.

Мерой точности изготовления является производственная погрешность.

Погрешность – разность между проектным (номинальным) значением и действительным значением размера

$$\Delta A = A_d - A_n.$$

Задача производства состоит в обеспечении минимального значения погрешности ΔA .

В общем машиностроении точность геометрических параметров деталей и сборочных единиц регламентируется системой допусков и посадок.

Единая система допусков и посадок (ЕСДП) – закономерно построенная совокупность стандартизованных допусков и предельных отклонений размеров элементов деталей, а также посадок, образованных отверстиями и валами, имеющими стандартные предельные отклонения.

Допуск размера – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами (разность между верхними и нижними отклонениями).

Посадка – характер соединения деталей, определяемый значениями получающихся в нем *зазоров* или *натягов*. Посадка характеризует свободу относительного перемещения соединяемых деталей или степень сопротивления их взаимному смещению.

В самолетостроении система допусков и посадок находит ограниченное применение. Она используется при изготовлении механической обработкой стыковых узлов, элементов гидроагрегатов и шасси, технологической оснастки, монолитных лонжеронов, стенок и нервюр, т.е. деталей с достаточно высокой жесткостью.

При изготовлении обводообразующих элементов планера самолета, вследствие сложных форм, больших габаритных размеров и малой жесткости, выполнение геометрических параметров сопрягаемых деталей выполняется с помощью заготовительно-штамповочных и других специальных методов, которые не могут обеспечить требования ЕСДП. Вследствие этого в самолетостроительном производстве при обеспечении точности и взаимозаменяемости используется термин *увязка*.

Увязка – согласование формы и размеров сопрягаемых деталей в зоне их соединения или прилегания.

Понятие *увязка* используется не только как характеристика соединения деталей, но и как согласование размера при его переносе с одного носителя на другой. Например, перенос размера с чертежа на заготовку детали, на элементы формообразующей оснастки и сборочных приспособлений.

Вследствие этого, *точность сборки* узлов и агрегатов планера в значительной мере зависит от *точности переноса* (точности увязки) размера на всех этапах изготовления планера самолета.

Точность увязки двух размеров А и Б – степень соответствия разности значений их действительных размеров разности значений их проектных размеров.

Количественно точность увязки характеризуется *погрешностью увязки*:

$$\Delta_{AB} = (A_{д} - B_{д}) - (A_{п} - B_{п}) = \Delta A - \Delta B.$$

Погрешность взаимной увязки размеров полностью определяется погрешностями увязываемых размеров.

Погрешность увязки должна быть меньше поля допуска на сопряжение размеров соединяемых деталей:

$$\Delta_{AB} \leq [d_{AB}]_{\text{ТУ}}.$$

Геометрические параметры сборочных единиц авиационных конструкций зависят от следующих видов погрешностей, накапливаемых в процессе производства:

- погрешностей деталей, поступающих на сборку;
- погрешностей базирования деталей в процессе сборки;
- погрешностей увязки;
- погрешностей деформаций, вызванных внешними возмущающими факторами при осуществлении технологического процесса (например, поводками от клепки и сварки, температурным расширением деталей и др.);
- погрешностей сборочной оснастки, допущенных при ее изготовлении и монтаже.

Погрешности могут быть систематическими и случайными [20].

Систематические погрешности повторяются при многократном повторении техпроцесса. Величину и знак этих погрешностей можно прогнозировать. Систематические погрешности могут быть *постоянными* (неточности оборудования, приспособлений и др.) и *переменными* – закономерно изменяющимися (износ инструмента, температурные деформации и др.).

Случайные погрешности – погрешности, которые не имеют определенной закономерности. Величину и знак (направление) случайных погрешностей заранее предсказать нельзя (колебания величины припуска, механических свойств материала, силы зажима и др.).

3.2. Размерные цепи

При анализе точности и определении параметров размеров используют аппарат теории размерных цепей [5, 20, 28].

Размерная цепь – всякая замкнутая система взаимосвязанных размеров.

Размеры, входящие в размерную цепь, называются *составляющими звеньями*. Размер (звено), получаемый в размерной цепи последним при обработке или сборке, называется *замыкающим*. *Исходное звено* – звено размерной цепи, заданные номинальный размер и предельные отклонения которого определяют функционирование механизма и должны быть обеспечены в результате решения размерной цепи.

Увеличивающим звеном размерной цепи называется звено, с увеличением которого размер замыкающего звена тоже *увеличивается*.

Уменьшающим звеном размерной цепи называется звено, с увеличением которого замыкающее звено *уменьшается*.

Размер замыкающего звена является контролируемым, он определяется с точностью, определяемой допуском. Допуск задается конструктором исходя из назначения конструкции или определяется расчетом.

По области применения размерные цепи могут быть конструкторскими, технологическими и измерительными.

Конструкторская размерная цепь служит для решения вопросов взаимного расположения поверхностей деталей, расчета зазоров и натягов при конструировании изделий.

При помощи технологических размерных цепей решаются задачи обеспечения размера замыкающего звена, производится анализ точности размеров составляющих звеньев с учетом технологических процессов их выполнения.

В состав технологических цепей входят настраиваемые размеры оборудования, приспособлений, инструментов и изменение этих размеров при выполнении технологических операций.

В качестве составляющего звена технологической цепи используют первичный размер, равный номинальному по чертежу, и изменения этого размера на всех этапах его переноса при изготовлении изделия.

Замыкающим звеном технологической цепи является получаемый размер изделия.

Измерительные размерные цепи – размерные цепи, с помощью которых измеряют параметры, характеризующие точность детали или изделия.

По месту в изделии размерные цепи могут быть:

- *детальные* – определяют точность относительного положения поверхностей или осей одной детали (рис. 3.2);
- *сборочные* – определяют точность относительного положения поверхностей или осей деталей, входящих в сборочную единицу (рис. 3.3).

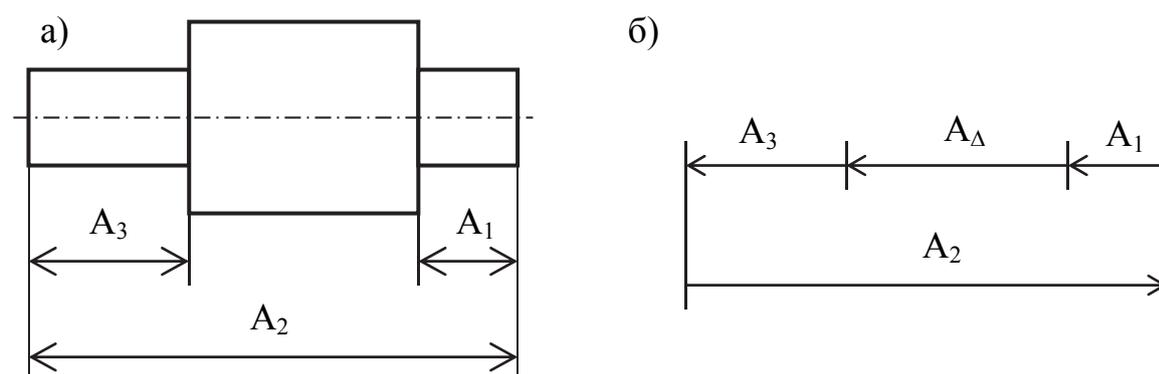


Рис. 3.2. Эскиз детали (а) и схема детальной размерной цепи (б)

По расположению звеньев размерные цепи могут быть:

- *линейные* – звенья цепи являются линейными размерами и располагаются на параллельных прямых;

- *угловые* – звенья цепи представляют собой угловые размеры, отклонения которых могут быть заданы в линейных величинах, отнесенных к условной длине, или в градусах;

- *плоские* – звенья цепи расположены произвольно в одной или нескольких параллельных плоскостях;

- *пространственные* – звенья цепи расположены произвольно в пространстве.

По виду выполняемых технологических этапов изготовления изделия различают размерные цепи: операционные, поддетальные, сборочные, полные технологические.

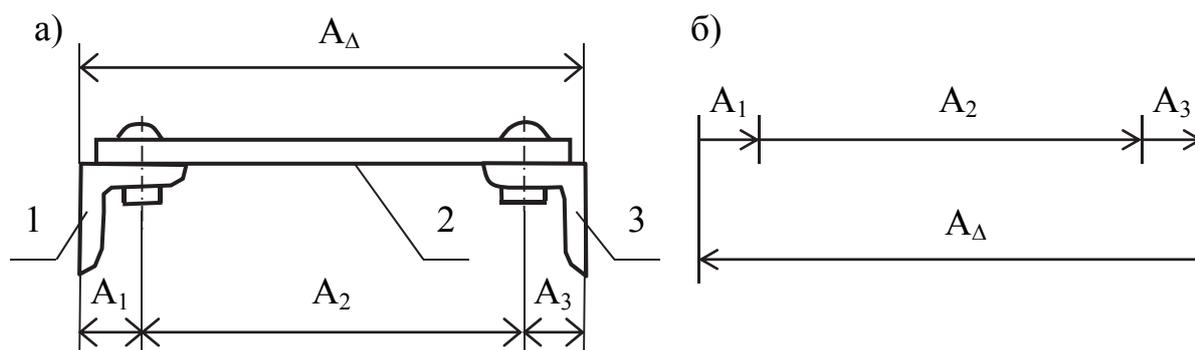


Рис. 3.3. Эскиз узла (а) и схема сборочной цепи (б):
1 – профиль левый; 2 – стенка; 3 – профиль правый

Операционные технологические размерные цепи строят для одной операции технологического процесса (например, вырубки). В состав размерной операционной цепи в качестве замыкающего звена входит размер элемента конструкции, полученный в результате выполнения операции, а в качестве составляющих звеньев – первичный размер и его поэтапные изменения.

Операционные технологические цепи имеют наименьшую погрешность замыкающего звена.

Поддетальная технологическая размерная цепь связана с технологическим процессом изготовления детали и поэтому строится для всех операций, вызывающих изменение геометрических параметров детали, и учитывает погрешности, возникающие на каждой операции.

Сборочные технологические размерные цепи отражают изменение погрешностей геометрических размеров сборочной единицы на всех этапах сборки.

Полная размерная цепь позволяет установить связь между производственными погрешностями конечных размеров сборочной единицы и погрешностями, возникающими на отдельных этапах техпроцессов изготовления деталей, входящих в состав сборочной единицы.

Уравнение плоской размерной цепи имеет вид:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m A_i - \sum_{j=1}^n A_j,$$

где m – количество увеличивающих звеньев; n – количество уменьшающих звеньев.

При расчете значений погрешности замыкающего звена используется следующее уравнение

$$\delta_A = \sum_{i=1}^m \delta_i + \sum_{j=1}^n \delta_j,$$

где δ_i, δ_j – погрешности составляющих звеньев.

Повышение точности замыкающего звена может обеспечиваться двумя путями:

- 1) за счет повышения точности составляющих звеньев размерной цепи;
- 2) за счет уменьшения числа звеньев размерной цепи.

Расчет размерных цепей сводится к решению одной из двух задач:

1) по заданному номинальному размеру, допуску и предельным отклонениям замыкающего звена определить номинальные размеры, допуски и отклонения составляющих звеньев размерной цепи;

2) по заданным допускам, размерам и предельным отклонениям составляющих звеньев размерной цепи определить номинальный размер, допуск и предельные отклонения замыкающего звена.

Первая задача называется проектной или прямой. Решением этой задачи занимаются как конструкторы, так и технологи.

Вторая задача носит название проверочной или обратной. Такие задачи чаще всего решают технологи.

Расчет размерных цепей производится с помощью двух методов:

- 1) метода максимума-минимума,
- 2) вероятностного метода.

При расчете методом *максимума-минимума* учитываются только предельные отклонения составляющих звеньев – при условии полной взаимозаменяемости.

При расчете *вероятностным* методом учитываются явление рассеяния и вероятность различных сочетаний отклонений составляющих звеньев размерной цепи – при условии неполной взаимозаменяемости.

На точность изготовления деталей и сборки изделий влияют следующие факторы:

- 1) неоднородность материала заготовок и полуфабрикатов;
- 2) состояние технологического оборудования и его точность;
- 3) качество и состояние технологической оснастки;
- 4) режимы обработки;

- 5) метод увязки формы и размеров технологической оснастки с формой и размерами деталей и сборочных единиц;
- 6) метод сборки;
- 7) температурные условия изготовления и сборки;
- 8) упругие деформации детали, оборудования, инструмента;
- 9) точность инструмента и средств измерений;
- 10) квалификация и субъективные ошибки исполнителей.

При сборке узлов и агрегатов в самолетостроении широко используется метод компенсации.

Компенсация – использование дополнительных методов в конструкции или способов, позволяющих уменьшить погрешность сборки.

Используется два вида компенсации: конструкторская и технологическая.

Конструкторская компенсация осуществляется посредством:

- прокладок;
- плавающих гаек;
- уголков-компенсаторов;
- изменения взаимного расположения деталей изделия;
- регулирования размера.

Примеры конструкторской компенсации представлены на рис. 3.4.

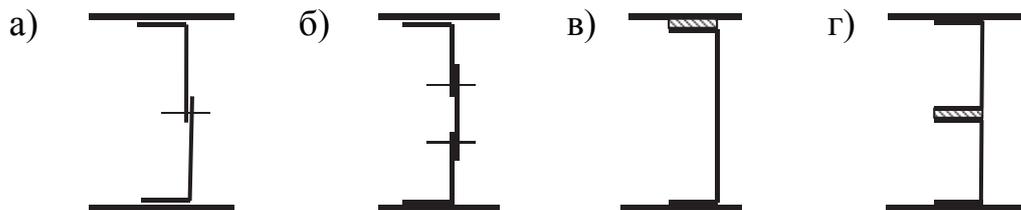


Рис. 3.4. Примеры конструкторской компенсации при образовании соединения нервюры с обшивками: *а, б* – изменение взаимного расположения деталей; *в, г* – использование прокладок

Технологическая компенсация:

- пригонка;
- совместный подбор деталей;
- деформирование детали (упругая сборка).

Процесс пригонки заключается в том, что сопрягаемые детали имеют припуск, который при сборке снимается. Это позволяет из деталей, выполненных с невысокой точностью, собрать изделие с достаточно высокими точностными характеристиками.

При реализации метода подбора соединяемые детали сначала группируют по группам с наиболее близкими параметрами.

В самолетостроении находит применение метод упругой или силовой сборки. Он осуществляется при сборке узла в сборочном приспособле-

нии путем деформирования деталей соответственно контуру рубильника (базового элемента) или каркаса. Так как контур рубильника выполняется с немного большей кривизной, чем кривизна теоретического контура узла, после выполнения процесса сборки и выемки узла из приспособления, радиус кривизны действительного контура за счет пружинения может быть с высокой точностью равен теоретическому контуру.

3.3. Анализ технологических процессов

Оценка технологических процессов выполняется по результатам выявления и анализа закономерностей изменения размеров деталей в процессе изготовления с помощью методов математической статистики [5, 28].

При анализе технологического процесса определяют размеры всех деталей в партии, используя результаты замеров, выполняют построение гистограммы, практических и теоретических *кривых распределения* размеров деталей, затем сопоставляют поле рассеяния размеров с полем допуска.

Стабильность оценивается с помощью контрольных карт.

При оценке возможностей стабильных процессов используют индексы воспроизводимости и настроенности.

Рассмотрим пример анализа технологического процесса изготовления валика диаметром $\varnothing = 19,6_{-0,13}$ мм.

Контроль размеров выполнялся для 10 деталей через равные интервалы времени. Число выборок из процесса приняли равным $m = 10$. В каждой выборке из процесса выполняли по 2 замера. Объем отдельных выборок из процесса $n = 2$.

Объем объединенной выборки значений равен $N = m \cdot n$:

$$N = 10 \cdot 2 = 20.$$

Максимальное действительное значение диаметра $d_{max} = 19,57$ мм.

Минимальное действительное значение диаметра $d_{min} = 19,53$ мм.

Допуск $T = 0,13$ мм.

Результаты измерений и расчетов средних значений в выборках представлены в табл. 3.2.

Определяем размах (поле рассеивания размеров):

$$R = d_{max} - d_{min} = 19,57 - 19,53 = 0,04 \text{ мм.}$$

Полученный ряд результатов измерений диаметра делим на группы с равными интервалами размеров.

Определяем количество интервалов

$$k = 1 + 3,32 \lg N = 1 + 3,32 \lg 20 = 5,32, \text{ принимаем } k = 5.$$

Таблица 3.2

Результаты замеров детали

Номер выборки, m	Контролируемый параметр d , мм		
	Наибольшее значение	Наименьшее значение	Среднее значение, \bar{x}
1	19,56	19,55	19,555
2	19,55	19,54	19,545
3	19,56	19,55	19,555
4	19,54	19,54	19,540
5	19,54	19,53	19,535
6	19,55	19,54	19,545
7	19,55	19,54	19,545
8	19,57	19,55	19,560
9	19,54	19,53	19,535
10	19,54	19,54	19,540

Определяем длину интервала

$$r = \frac{R}{m} = \frac{0,04}{5} = 0,008 \text{ мм.}$$

Определяем *частоту* – количество размеров, попавших в *определенный* интервал. Результаты расчетов оформляем в виде таблицы (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Распределение размеров валиков

Номер интервала	Интервал размеров (диаметров), мм	Частота f , шт.
1	19,53 до 19,538	2
2	Свыше 19,538 до 19,546	9
3	Свыше 19,546 до 19,554	6
4	Свыше 19,554 до 19,562	2
5	Свыше 19,562 до 19,57	1

По данным табл. 3.2 – 3.3 в определенном масштабе строим диаграмму. По оси абсцисс откладывают интервалы размеров деталей, а по оси ординат – соответствующие им частоты. В результате построения получаем столбчатую диаграмму, которая называется *гистограммой распределения* (рис. 3.5).

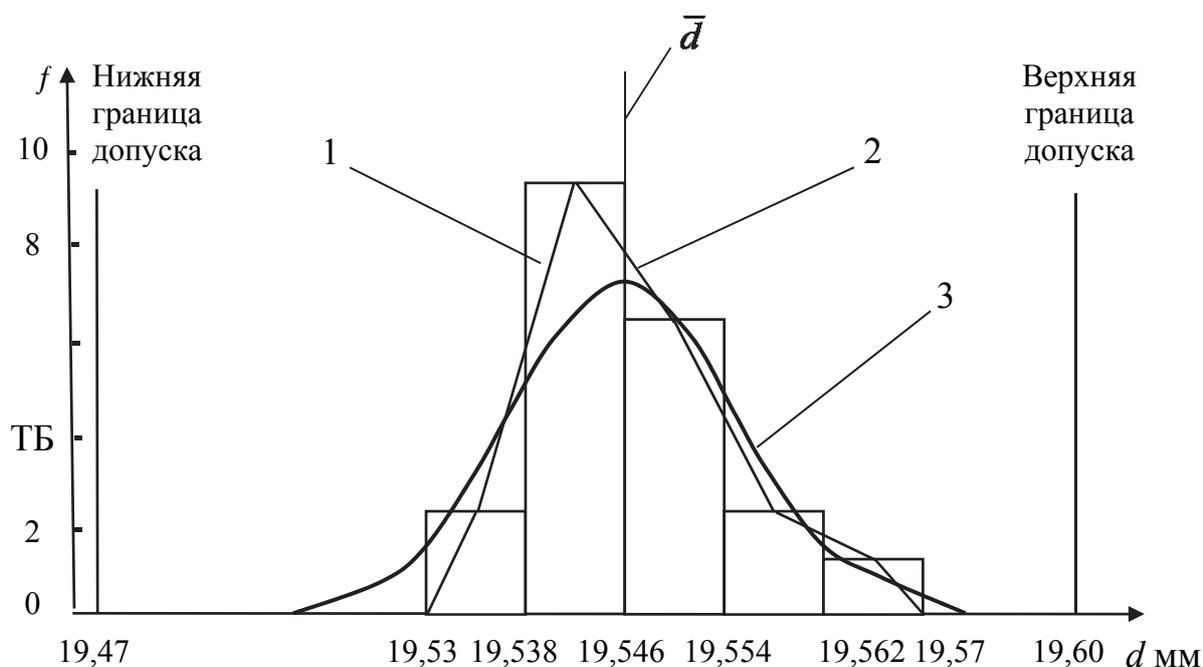


Рис. 3.5. Распределение размеров деталей:
 1 – гистограмма распределения; 2 – полигон распределения;
 3 – теоретическая кривая нормального распределения

Если последовательно соединить между собой точки, соответствующие середине интервала, то образуется ломаная кривая, которую называют *эмпирической кривой распределения*, или *полигоном распределения*.

Практическая кривая служит для приближенной оценки точности процесса, так как зависит не только от объективных причин – характера распределения размеров, но и от случайных – числа интервалов, количества принятых для анализа деталей. Вследствие этого для объективной оценки точности изготовления следует построить теоретическую кривую, отображающую определенный закон распределения, задаваемый математическим уравнением.

Наиболее часто встречаются распределения размеров, близкие к закону нормального распределения (закону Гаусса).

Данные для построения теоретической кривой нормального распределения размеров валика рассчитываем по следующему уравнению

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d_i - \bar{d})^2}{2\sigma^2}},$$

где σ – среднее квадратичное отклонение; e – основание натурального логарифма; d_i – действительное значение размера i -й детали; \bar{d} – центр распределения (группирования) размеров.

Центр группирования или центр рассеивания размеров характеризует интервал размеров, попадание в который при изготовлении имеет наибольшую вероятность.

Положение центра группирования определяется средним значением действительных размеров

$$\bar{d} = \frac{1}{N} \sum d_i f_i,$$

где d_i – действительное значение i -й детали; f_i – частота попадания размера в заданный интервал.

Определяем центр группирования

$$\bar{d} = \frac{1}{20} \cdot (19,53 \cdot 2 + 19,54 \cdot 9 + 19,55 \cdot 6 + 19,56 \cdot 2 + 19,57) = 19,5455 \text{ мм.}$$

Среднее квадратичное отклонение определяем по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (d_i - \bar{d})^2 f_i}.$$

Используя данные табл. 3.2 и 3.3, выполняем промежуточные расчеты и определяем среднее квадратичное отклонение

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{(-0,0155)^2 \cdot 2 + (-0,0055)^2 \cdot 9 + 0,0045^2 \cdot 6 + 0,014^2 \cdot 2 + 0,024^2}{19}} = \\ &= \sqrt{\frac{(4,804 + 2,722 + 1,215 + 3,92 + 5,76) \cdot 10^{-4}}{19}} = \sqrt{9,695 \cdot 10^{-5}} = 0,01 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Среднее квадратичное отклонение является мерой рассеяния размеров, или мерой точности. Чем меньше значение σ , тем меньше величина рассеяния размеров деталей в партии и, следовательно, выше точность изготовления. Для сопоставления и последующего анализа точности изготовления изделия строится теоретическая кривая, которая сравнивается с эмпирической кривой.

Построение кривой нормального распределения производится в том же масштабе, в котором были выполнены гистограмма и полигон.

Ординаты кривой нормального распределения рассчитываются по следующей формуле:

$$h = y \cdot \frac{N \cdot r}{\sigma},$$

где y – табличное значение ординаты; N – количество измерений размеров; r – величина интервала по оси абсцисс, принятого при построении гистограммы и полигона; σ – среднее квадратичное отклонение.

Данные и результаты расчета ординат теоретической кривой представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Данные и результаты расчета

x	y	h
0	0,3989	6,40
$\pm 0,5\sigma$	0,3521	5,64
$\pm 1,0\sigma$	0,2420	3,87
$\pm 1,5\sigma$	0,1295	2,10
$\pm 2,0\sigma$	0,0540	0,86
$\pm 2,5\sigma$	0,0175	0,28
$\pm 3\sigma$	0,0044	0,07

Используя данные табл. 3.4, выполняем построение теоретической кривой распределения размеров (см. рис. 3.5).

Анализ кривых показывает, что распределение размеров деталей соответствует нормальному закону.

Согласно уравнению Гаусса, предельные отклонения размеров от центра их группирования могут быть ограничены полем $\pm 3\sigma$. Вероятность попадания размеров за эти пределы составляет 0,0027.

Следовательно, поле рассеяния может быть определено по формуле

$$\omega_p \approx 6\sigma.$$

Построение теоретической кривой распределения на основе измерений деталей дает возможность прогнозировать на некоторое время вперед вероятность попадания действительных размеров деталей в определенный интервал.

Важной характеристикой технологического процесса является его стабильность, заключающаяся в способности сохранять значения σ неизменными в течение некоторого времени.

Основная цель анализа состояния технологического процесса состоит в том, чтобы на основе полученных результатов в случае необходимости привести процесс в статистически управляемое состояние.

Статистическое регулирование технологических процессов удобно осуществлять с помощью *контрольных карт* Шухарта, на которых отмечают в виде точек размеры измеренных деталей или групповые средние размеры и статистические характеристики, полученные по результатам выборочного контроля.

Для построения контрольных карт берут выборки (подгруппы), состоящие от двух до десяти деталей.

На контрольной карте отмечают границы регулирования (контрольные линии), ограничивающие область допустимых значений характеристик.

Выход точки за границы регулирования (или появление ее на самой границе) служит сигналом о разладке технологического процесса.

Контрольная карта позволяет выявить причины возникновения разладки процесса.

На основании анализа контрольной карты может быть принято, например, решение о пересмотре допуска на контролируемый параметр либо это может послужить достаточным основанием для замены или модернизации оборудования.

Когда контролируемый показатель можно измерить (размер детали, шероховатость поверхности, температура, прочность и др.), применяются контрольные карты по *количественному признаку*.

Контроль по *альтернативному признаку* заключается в определении соответствия контролируемого параметра или единицы продукции установленным требованиям. При контроле по альтернативному признаку не требуется знать фактическое значение контролируемого параметра – достаточно установить факт соответствия или несоответствия. Поэтому можно использовать простейшие средства контроля: шаблоны, калибры, образцы и др. [4].

Решение о состоянии технологического процесса принимается в зависимости от числа дефектов или числа дефектных единиц продукции, обнаруженных в выборке.

При контроле по количественному признаку обычно контролируются изменение как среднего значения контролируемого параметра, характеризующего уровень настройки процесса, так и технологического рассеивания: строятся двойные карты Шухарта. При этом уровень настройки процесса может оцениваться по средним значениям или медианам, а рассеивание – по стандартным отклонениям или размахам.

В соответствии с этим используются двойные карты следующих типов:

- карты средних значений и размахов ($\bar{x} - R$ -карты);
- карты средних значений и стандартных отклонений ($\bar{x} - s$ -карты);
- карты медиан и размахов ($Me - R$ -карты).

Процесс считается стабильным (статистически управляемым), если об этом свидетельствуют обе карты.

Выполним анализ состояния техпроцесса изготовления валика диаметром $\varnothing = 19,6_{-0,13}$ с использованием карт средних значений и размахов.

Используя данные табл. 3.2, вычисляем общее среднее число средних значений размеров валика:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{x}_i}{m} = \frac{(19,555 \cdot 2 + 19,545 \cdot 3 + 19,54 \cdot 2 + 19,535 \cdot 2 + 19,56)}{10} = 19,5455 \text{ мм.}$$

Используя данные табл. 3.2, определяем значение размаха в каждой подгруппе и затем вычисляем среднее значений размахов:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} = \frac{(0,01 \cdot 7 + 0,02)}{10} = 0,009.$$

Вычисляем параметры контрольных линий для \bar{x} -карты.
Положение средней линии:

$$CL = \bar{x} = 19,5455 \text{ мм.}$$

Положение верхней контрольной границы:

$$UCL = \bar{x} + A_2 \bar{R} = 19,5455 + 1,880 \cdot 0,009 = 19,5624 \text{ мм.}$$

Положение нижней контрольной границы:

$$LCL = \bar{x} - A_2 \bar{R} = 19,5455 - 1,880 \cdot 0,009 = 19,5286 \text{ мм.}$$

Вычисляем параметры контрольных линий для R -карты.
Положение средней линии:

$$CL = \bar{R} = 0,009 \text{ мм.}$$

Положение верхней контрольной границы:

$$UCL = D_4 \bar{R} = 3,267 \cdot 0,009 = 0,0294 \text{ мм.}$$

При числе замеров в подгруппе $n < 6$ положение нижней контрольной границы LCL для карты размахов не рассматривается.

Значение коэффициентов A_2 и D_4 зависит от числа замеров n в подгруппе и выбирается из специальной таблицы, например, табл. П6 [17, с. 297].

Для $n = 2$ коэффициент равен $A_2 = 1,880$, коэффициент $D_4 = 3,267$.

Используя результаты расчетов, выполняем построение контрольной карты средних значений.

При построении карты средних значений по оси абсцисс откладывается номер выборки, по оси ординат – значения измерений диаметра и координаты границ и средней линии. Проводятся верхняя (USL) и нижняя (LSL) линии границ допуска, нижняя (LCL) и верхняя (UCL) контрольные границы и средняя линия (CL). Наносятся точки средних значений размеров каждой выборки и соединяются линией (рис. 3.6).

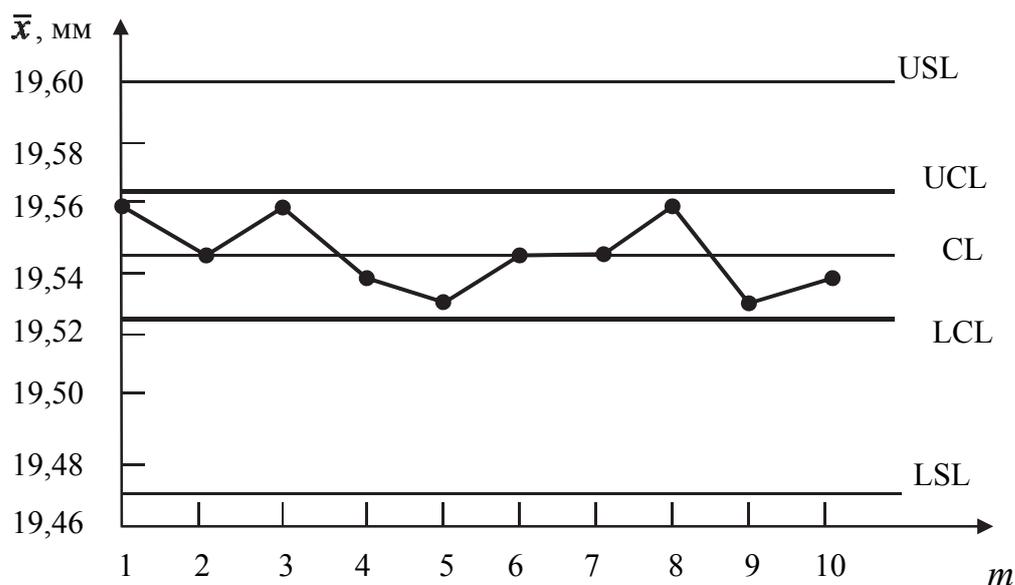


Рис. 3.6. Пример карты средних значений

Таким же образом выполняется построение карты размахов, пример которой представлен на рис. 3.7.

После построения контрольных карт выполняется их анализ. При этом оценивается стабильность процесса отдельно по карте для характеристики рассеяния (размаху) и по карте для характеристики среднего уровня процесса (среднему значению).

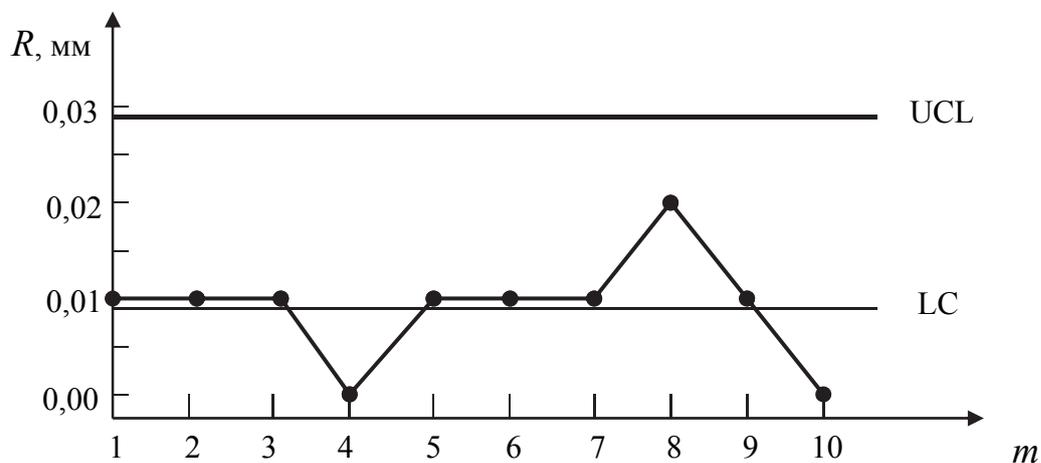


Рис. 3.7. Пример карты размахов

При анализе контрольных карт используются следующие критерии для оценки технологического процесса [13]:

- выход точки за контрольные границы;
- девять точек подряд (серия) по одну сторону от средней линии;
- шесть возрастающих или убывающих точек подряд (тренд);

- две из трех последовательных точек в зоне 3σ или вне ее;
- четыре из пяти последовательных точек в зоне 2σ или вне ее;
- восемь последовательных точек по обеим сторонам средней линии и ни одной в зоне 1σ .

Если хотя бы на одной из контрольных карт имеется подобное расположение точек, то это свидетельствует об отсутствии управляемого состояния процесса. Это показатель того, что кроме обычных (случайных) причин изменчивости процесса, появилась особая причина и требуются анализ и корректировка процесса для ее устранения.

Анализ контрольных карт (см. рис. 3.6, 3.7) позволяет сделать вывод о том, что технологический процесс изготовления валика является статистически управляемым. Технологический процесс стабильный по разбросу и положению среднего арифметического.

Контролируемый параметр должен находиться в пределах допуска. Для оценки возможности технологического процесса обеспечить выпуск изделий с параметрами в пределах допуска, для стабильных процессов используются индексы воспроизводимости.

Воспроизводимость – статистическое понятие, которое характеризует повторяемость результата. Процесс (оборудование) считается воспроизводимым, если при его использовании, раз от разу производят изделия, вариабельность характеристик которых не превышает установленных пределов.

Индекс воспроизводимости – безразмерная величина, показывающая связь между характеристиками технологического процесса и допуском.

Если контролируемый параметр имеет нормальное распределение и его среднее значение находится в середине поля допуска, индекс воспроизводимости C_p определяется по формуле

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma},$$

где USL – верхняя граница допуска; LSL – нижняя граница допуска; σ – среднее квадратичное отклонение.

При $C_p = 1$ вероятность брака теоретически составляет 0,27 %, при этом доля несоответствующих изделий составит $27/10000 = 2700$ изделий на миллион, т. е. 2700 *ppm* (parts per million – единица измерения уровня несоответствий).

Стандарт [13] рекомендует в качестве минимально приемлемого значения $C_p = 1,33$ (дефектность составит 66 *ppm*).

При $C_p = 1,67$ уровень несоответствий будет составлять 6 *ppm*. Передовые мировые промышленные компании за счет усовершенствования производственных процессов достигли уровня 3,4 *ppm*.

При использовании *R*-карты σ определяется по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d},$$

где коэффициент d выбирается в зависимости от числа замеров в подгруппе из табл. П6 [17, с. 297].

Для $n = 2$ коэффициент равен $d = 0,798$, следовательно,

$$\sigma = \frac{0,009}{0,798} = 0,0113.$$

Определяем индекс воспроизводимости

$$C_p = \frac{0,13}{0,0678} = 1,92.$$

Полученное значение выше числа $1,33$, что означает высокую относительную возможность процесса по обеспечению выполнения размеров деталей в допуске. При оценке процесса можно использовать коэффициент *точности*, который является обратной величиной индекса воспроизводимости.

Если среднее арифметическое располагается или может быть расположено не по центру поля допуска, то дополнительно следует определять индекс *настроенности* (работоспособности) процесса по формуле

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma}\right).$$

Для рассматриваемого процесса

$$C_{pk} = \frac{(USL - \bar{x})}{3\sigma} = \frac{19,6 - 19,5455}{0,03} = 1,82.$$

Расчетное значение индекса настроенности также выше числа $1,33$, следовательно, процесс является центрированным, имеет стабильную настройку.

3.4. Базы и базирование

Точность выполнения геометрических параметров изделий при изготовлении и сборке зависит от применяемой системы базирования.

Для изделий машиностроения установлены термины и определения основных понятий базирования и баз [6].

Базирование – придание заготовке или изделию требуемого, фиксируемого положения относительно выбранной системы координат или другого элемента.

База – поверхность или сочетание поверхностей, выполняющее ту же функцию; линия; точка, относительно которой с достоверной точностью фиксируется заготовка или изделие.

Проектная база – база, используемая при проектировании изделия или технологического процесса изготовления, а также ремонте изделия.

Действительная база – база, фактически используемая в конструкции при изготовлении, эксплуатации и ремонте изделия.

Комплект баз – совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или изделия.

При разработке технологических процессов и проектировании оснастки технологи и конструкторы руководствуются *правилом шести точек*, из которого следует, что для полного базирования заготовки или детали на станке (т.е. базирования с лишением ее всех шести степеней свободы) необходимо и достаточно создать в приспособлении шесть опорных точек, расположенных определенным образом относительно баз заготовки.

Опорная точка – точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделия с выбранной системой координат (рис. 3.8, 3.9).

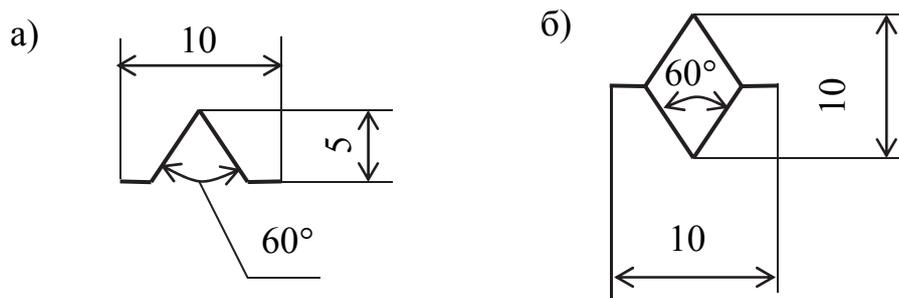


Рис. 3.8. Условное изображение опорных точек:
а – на виде спереди; б – на виде сверху

Схема базирования – схема расположения опорных точек на базах.

Пример схемы базирования призматической детали по правилу шести точек представлен на рис. 3.9.

Все опорные точки на схеме базирования изображают условными знаками и нумеруют порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагается наибольшее количество опорных точек. При наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую изображается одна точка и около нее проставляют номера совмещенных точек. Число проекций заготовки или изделия на схеме базирования должно быть достаточным для четкого представления о размещении опорных точек.

Смена баз – замена одних баз другими с сохранением их принадлежности к конструкторским, технологическим или измерительным базам.

Закрепление (фиксирование) – приложение сил и пар сил к заготовке или изделию для обеспечения постоянства их положения, достигнутого при базировании.

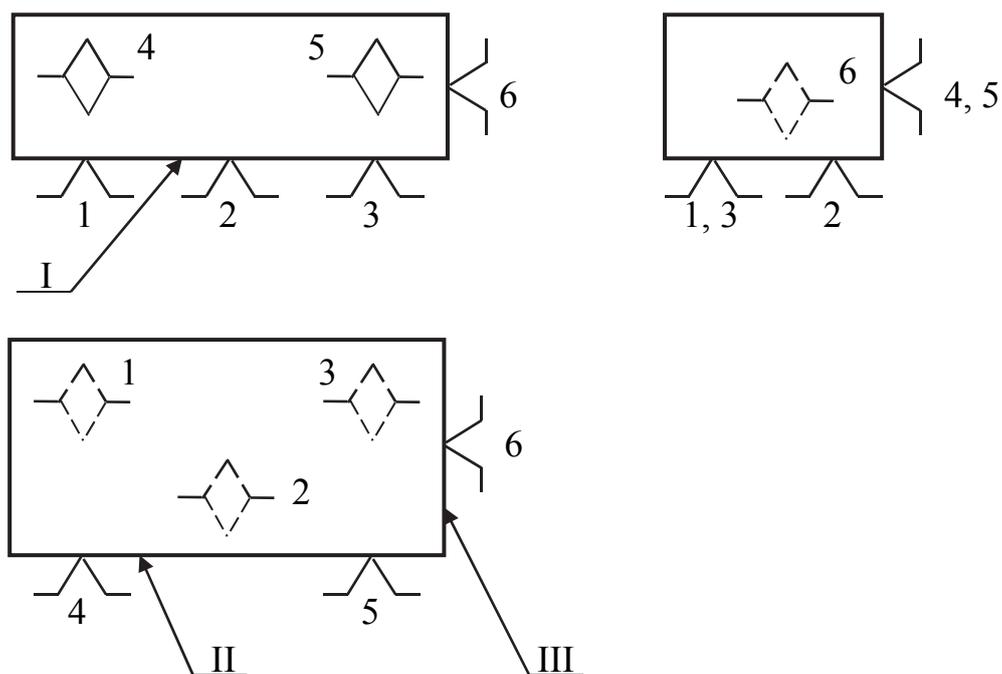


Рис. 3.9. Схема базирования призматической детали:
I, II, III – базы детали; 1 - 6 – опорные точки

Установка – базирование и закрепление заготовки или изделия.

Все поверхности деталей изделий машиностроения сводятся к четырем видам:

- 1) *исполнительные поверхности* – поверхности, при помощи которых деталь выполняет свое служебное назначение;
- 2) *основные* – поверхности, при помощи которых определяется положение данной детали в изделии;
- 3) *вспомогательные* – поверхности, при помощи которых определяется положение присоединяемых деталей относительно данной;
- 4) *свободные поверхности* – поверхности, не соприкасающиеся с поверхностями других деталей.

Базы классифицируются по назначению, по лишаемым степеням свободы и по характеру проявления.

По назначению:

- *конструкторская база* – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии;
- *технологическая база* – база, используемая для определения положения заготовки или изделия при изготовлении и ремонте;
- *измерительная база* – база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

По лишаемым степеням свободы:

- *установочная база* – база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишающих ее трех степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух осей;
- *направляющая база* – база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишающих ее двух степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси;
- *опорная база* – база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишающих ее одной степени свободы: перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси;
- *двойная направляющая база* – база, используемая для наложения на заготовку или изделие связей, лишающих ее четырех степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей;
- *двойная опорная база* – база, используемая для наложения на заготовку (изделие) связей, лишающих ее двух степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей.

По характеру проявления:

- *скрытая база* – база в виде воображаемой плоскости, оси или точки. Обычно это конструкторские базы;
- *явная база* – база в виде реальной поверхности, разметочной рис-ки или точки пересечения рисок. Обычно это технологические базы.

Группа конструкторских баз подразделяется на основную и вспомогательную базы.

Основная база – конструкторская база данной детали или сборочной единицы, используемая для определения их положения в изделии.

Вспомогательная база – конструкторская база данной детали или сборочной единицы, используемая для определения положения присоединяемого к ним изделия.

Пример использования технологических баз при фрезеровании уступа призматической детали на фрезерном станке представлен на рис. 3.10.

При установке и базировании заготовки или изделий могут возникать погрешности, которые влияют на точность изготовления деталей и сборки изделий.

Погрешность базирования – отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия от требуемого положения при базировании.

Погрешность установки – отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия от требуемого положения при установке.

Чтобы устранить погрешность установки и базирования при изготовлении и сборке изделия в качестве технологической и конструкторской баз, следует использовать одни и те же поверхности (*правило совмещения баз*).

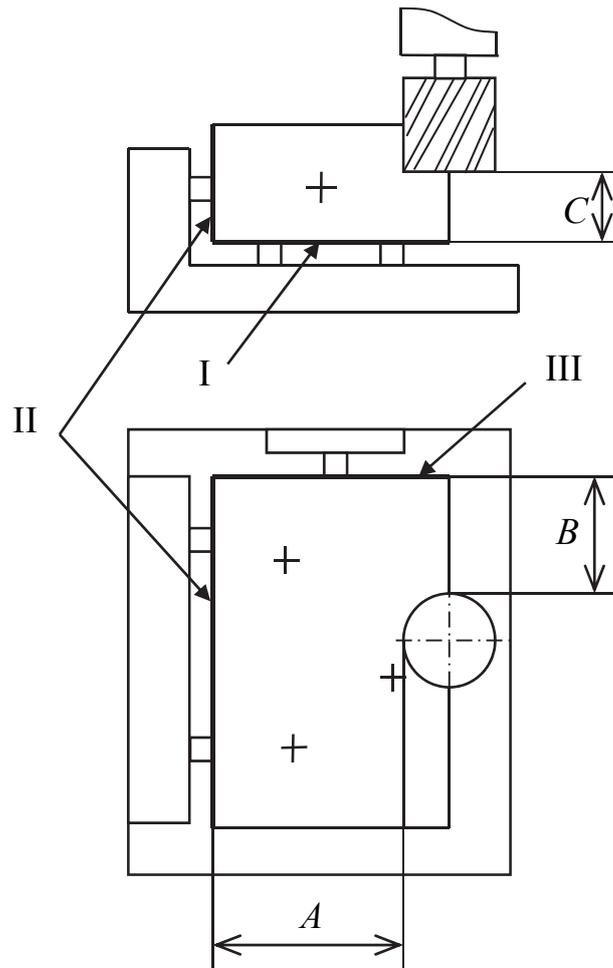


Рис. 3.10 Пример технологических баз:
I, II, III – комплект технологических баз

Пример совмещения баз представлен на рис. 3.11.

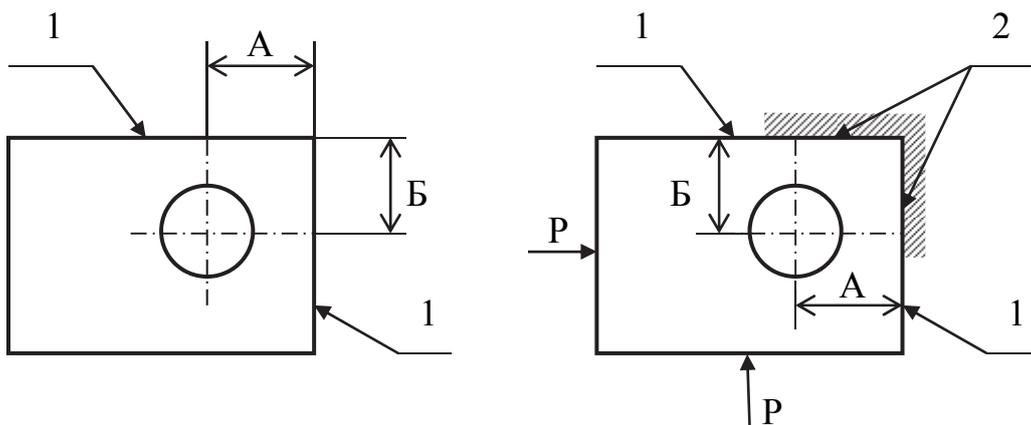


Рис. 3.11. Пример совмещения конструкторской и технологической баз при образовании отверстия: 1 – конструкторские базы; 2 – технологические базы

При обработке поверхностей детали следует использовать по возможности одну и ту же технологическую базу (*выполнение правила постоянства баз*).

Базисный размер – расстояние между конструкторской и технологической базами.

Если конструкторская и технологические базы совпадают, то базисный размер равен нулю. Если базы совместить не удастся, то для базирования выбирается поверхность, базисный размер которой обеспечивает минимальную погрешность. Погрешность базирования дает систематическую погрешность, которую следует учитывать при расчете точностных характеристик процесса.

В самолетостроении используется понятие сборочная база [1, 5, 29].

Сборочные базы – это поверхности, линии или точки, определяющие положение одной детали относительно других деталей изделия при сборке.

В самолетостроении в качестве сборочных баз при сборке узлов, панелей, секций, отсеков и агрегатов используют:

- поверхности деталей и каркаса;
- линии и риски;
- сборочные отверстия (СО);
- базовые отверстия (БО);
- наружную поверхность обшивки;
- внутреннюю поверхность обшивки.

Исходя из вида сборочных баз, различают способы базирования: базирование по разметке; базирование по СО; базирование по БО; базирование по поверхности каркаса; базирование по наружной поверхности обшивки; базирование по внутренней поверхности обшивки.

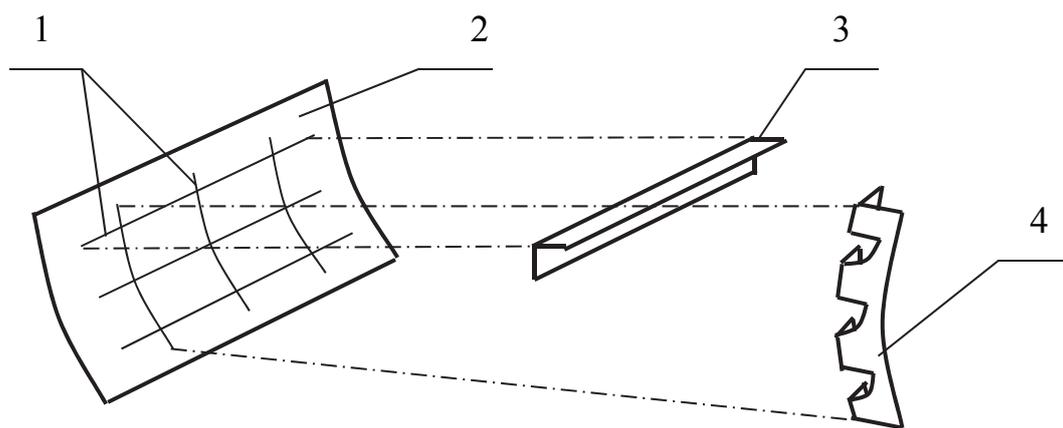


Рис. 3.12. Базирование по разметке:

1 – базовые линии; 2 – обшивка (базовая деталь); 3 – стрингер (базируемая деталь); 4 – диафрагма (базируемая деталь)

1) *Базирование по разметке* (рис. 3.12). Этот способ базирования применяют для узлов, которые имеют одну базовую деталь. Базлируемые детали устанавливают на поверхность базовой детали по заранее нанесенным с помощью универсальных измерительных и разметочных средств или по шаблонам, линиям и рискам. На период сборки детали скрепляют струбцинами или другими универсальными зажимами.

2) *Базирование по СО* (рис. 3.13, а). При этом способе базирования взаимное расположение деталей определяется положением имеющихся в них СО. Сборочные отверстия располагают в местах установки заклепок или болтов и рассверливают в рабочий диаметр. Для установки детали в сборочное положение должно быть не менее двух СО. Число СО зависит от габаритных размеров изделия, они располагаются шагом 500 мм.

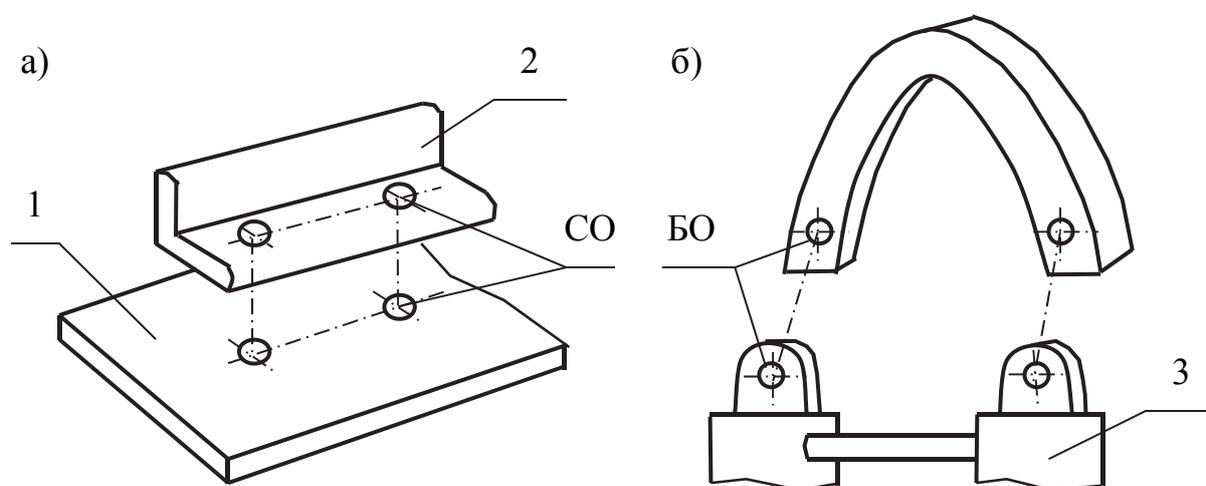


Рис. 3.13. Базирование по СО (а) и БО (б):

1 – базовая деталь; 2 – базлируемая деталь; 3 – приспособление

Кроме СО в наиболее жесткой детали могут выполнять направляющие отверстия (НО) диаметром, меньшим, чем рабочий диаметр. При сборке соединяемых деталей СО совмещают и на период сборки в них вставляют фиксаторы или технологические болты. Затем производят рассверливание деталей по НО, после этого выполняется сверление отверстий в деталях до требуемого диаметра и образование соединения, например, заклепочного. После выполнения соединения фиксаторы или технологические болты удаляются из СО, и в них согласно конструкторской документации устанавливаются крепежные элементы, которые входят в состав заклепочного шва.

3) *Базирование по БО*. При базировании по БО детали поперечного набора устанавливают в сборочное положение по отверстиям в деталях собираемого изделия и элементах сборочного приспособления (рис. 3.13, б). БО являются технологическими, используются только на период сборки.

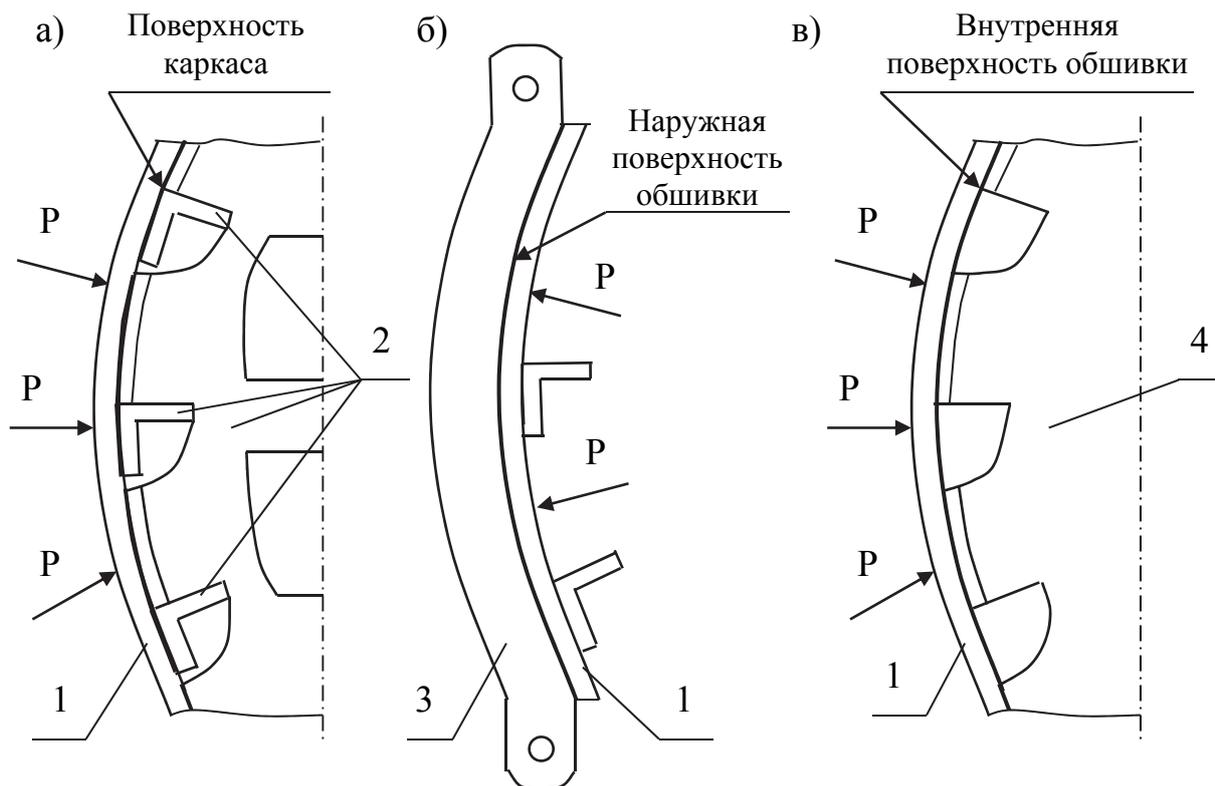


Рис. 3.14. Способы базирования при сборке в приспособлении:
 а – базирование по поверхности каркаса; б – базирование по наружной поверхности обшивки; в – базирование по внутренней поверхности обшивки; 1 – обшивка; 2 – элементы каркаса; 3 – рубильник; 4 – макетный элемент каркаса

4) *Базирование по поверхности каркаса.* Этот способ базирования применяют при агрегатной сборке небольших агрегатов типа киля, стабилизатора, рулей направления и высоты, элерона, закрылка. При этом способе базирования обшивку устанавливают на базовую поверхность каркаса и прижимают на период соединения обшивки с элементами каркаса при помощи специальных лент или рубильников (рис. 3.14, а). Каркас может собираться в этом же приспособлении или в отдельном приспособлении. Точность сборки зависит от точности обвода каркаса и погрешностей толщины обшивки. Чтобы повысить точность сборки, допускаются правка элементов каркаса и использование прокладок.

5) *Базирование по наружной поверхности обшивки.* Этот способ базирования применяют при агрегатной сборке ответственных, аэродинамически сложных агрегатов типа крыла, управляемого стабилизатора, отсеков фюзеляжа. При этом способе базирования обшивка прижимается наружной поверхностью к поверхности базовых элементов приспособления (рубильников) на период ее соединения с элементами каркаса (рис. 3.14, б). Рабочий контур рубильников выполняется по контуру наружной поверхно-

сти обшивки (аэродинамическому обводу агрегата). Этот способ обеспечивает высокую точность базирования и сборки.

б) *Базирование по внутренней поверхности обшивки*. При данном способе базирования внутреннюю поверхность обшивки устанавливают на базовые поверхности сборочного приспособления и на поверхности специальных макетных нервюр или шпангоутов. Затем прижимают с помощью лент. Контур макетных элементов каркаса выполняется по контуру внутренней поверхности обшивки (эквидистантно контуру аэродинамического обвода на толщину обшивки). При сборке макетные элементы снимают и на их место устанавливают настоящие элементы каркаса и выполняют их соединение с обшивкой (рис. 3.14, в).

Способы базирования лежат в основе методов сборки узлов и агрегатов самолета. Каждый метод сборки обеспечивает определенную степень *точности* сборки и технико-экономические показатели технологического процесса.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию "точность размеров".
2. Дайте определение понятию "погрешность".
3. Назовите виды производственных погрешностей.
4. Дайте определение понятию "увязка".
5. Дайте определение понятию "точность увязки".
6. Какие факторы влияют на точность изготовления деталей и сборки изделий?
7. Дайте определение понятию "размерная цепь".
8. Дайте классификацию размерных цепей.
9. Дайте определение понятию "замыкающее звено".
10. Дайте определение понятию "увеличивающее звено размерной цепи".
11. Назначение технологических размерных цепей, их отличие от конструкторских размерных цепей.
12. Дайте классификацию размерных цепей по виду выполняемых технологических этапов изготовления изделия.
13. Как осуществляется конструкторская компенсация?
14. Назначение контрольных карт.
15. Методика построения контрольной карты средних значений.
16. Что характеризует индекс воспроизводимости?
17. Дайте определение понятию "база".
18. Назовите виды баз по назначению, их сущность.
19. Назначение вспомогательной конструкторской базы.
20. Суть правила совмещения баз.
21. Суть правила постоянства баз.
22. Назовите методы базирования, которые используются при сборке узлов и агрегатов планера самолета.

4. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ

4.1. Основные понятия и определения

Технологичность конструкции изделия – совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ [11].

Состав свойств, определяющих технологичность, является общим для оценки конструкции изделия.

Технологичность подразделяют на три вида: производственную, эксплуатационную и ремонтную.

Производственная технологичность – технологичность конструкции изделия при технологической подготовке производства, изготовлении, а также монтаже на предприятии-изготовителе.

Эксплуатационная технологичность – технологичность конструкции изделия при подготовке его к использованию по назначению, техническому обслуживанию, текущему ремонту и утилизации.

Ремонтная технологичность – технологичность конструкции изделия при всех видах ремонта, кроме текущего.

По *характеризуемым свойствам* технологичность делится на следующие два вида:

- 1) технологическая рациональность конструкции;
- 2) конструктивно-технологическая преемственность.

Технологическая рациональность конструкции характеризует возможность изготовления и эксплуатации данного изделия или группы его исполнений при использовании имеющихся в распоряжении производителя и потребителя продукции трудовых, материальных и других видов ресурсов.

Конструктивно-технологическая преемственность рассматривается в виде совокупности свойств, обеспечивающих применяемость и повторяемость конструктивно-технологических решений при проектировании и изготовлении изделий.

Обеспечение технологичности конструкции изделия – функция подготовки производства, включающая комплекс взаимосвязанных мероприятий по управлению технологичностью и совершенствованию условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте изделий.

Обеспечение технологичности конструкции предусматривает:

- отработку конструкции изделий на технологичность на всех стадиях разработки изделия, при технологической подготовке производства и в обоснованных случаях при изготовлении изделия;
- совершенствование условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте изделий и фиксацию принятых решений в технологической документации;

- количественную оценку технологичности конструкции изделий;
- технологический контроль конструкторской документации;
- подготовку и внесение изменений в конструкторскую документацию по результатам технологического контроля, обеспечивающего достижение базовых значений показателей технологичности.

Целью отработки конструкции на технологичность является повышение производительности труда, снижение затрат и сокращение времени на технологическую подготовку производства, на изготовление, техническое обслуживание и ремонт изделия при обеспечении необходимого качества изделия [10].

Отработка конструкции изделий на технологичность осуществляется комплексно: на уровне *деталей, сборочных единиц и изделия* в целом. Непременным условием обеспечения технологичности изделий является выполнение ряда требований, предъявляемых к конструкции изделия.

Основными факторами, определяющими требования к технологичности конструкции, являются:

- *вид изделия*: деталь, узел, агрегат, основные функциональные группы бортовых систем, самолет в целом;
- *объем выпуска*;
- *тип производства* (единичное, серийное, массовое).

К конструкции самолетов предъявляются следующие общие технологические требования [5]:

- простота форм поверхностей агрегатов;
- рациональное членение конструкции изделия;
- широкое применение в конструкции стандартных и унифицированных деталей и узлов;
- большая конструктивная преемственность элементов изделия;
- максимальное использование в конструкции материалов с высокими технологическими свойствами (хорошей обрабатываемостью, свариваемостью и др.);
- ограничение числа применяемых марок материалов;
- применение компенсаторов для обеспечения точности и взаимозаменяемости элементов конструкции;
- отсутствие чрезмерно высоких требований к точности размеров и шероховатости поверхностей элементов конструкции;
- наличие достаточных подходов к местам соединений, обеспечивающих удобство их выполнения;
- ориентация конструкции на применение прогрессивных способов сборки.

Отработка конструкции на технологичность производится совместно с разработчиками конструкторской и технологической документации, предприятиями-изготовителями и представителями заказчика.

Основное содержание работ по обеспечению технологичности конструкции изделия в зависимости от стадии разработки конструкторской документации устанавливается отраслевыми стандартами или стандартами предприятия.

Оценку технологичности конструкции изделия производят качественным и количественным способами.

4.2. Качественная оценка технологичности

Качественная оценка определяет технологичность конструкции с позиций ее соответствия основным общим и специальным технологическим требованиям. Этот вид оценки не позволяет применять количественные показатели и предназначен для оценки технологичности в общих определениях (высокая, низкая, рациональная, достаточно и т. д.) [30].

Качественная сравнительная оценка вариантов конструкции допустима на всех стадиях проектирования, когда осуществляется выбор лучшего конструктивного решения и не требуется определение степени различия технологичности сравниваемых вариантов.

Качественная оценка при сравнении вариантов конструкций в процессе проектирования предшествует количественной оценке.

При качественной оценке технологичности *детали* выполняют:

1) оценку материала детали и условий обработки с точки зрения выбора рационального процесса изготовления;

2) оценку формы, размеров, качества поверхностей и точности с точки зрения возможностей использования наиболее рационального в производственных условиях процесса изготовления;

3) оценку обоснованности заданных допусков и требований к качеству поверхности с точки зрения условий работы детали в узле.

Рассмотрим некоторые технологические требования к деталям в зависимости от метода их изготовления.

К деталям, изготавливаемым с помощью *механической обработки*, предъявляют следующие требования:

- совмещение конструкторских и технологических баз;
- возможность изготовления деталей из заготовок с формой, максимально близкой к форме окончательного изделия;
- конструкция детали должна обеспечивать простое, удобное и надежное закрепление заготовки этой детали на станке;
- размеры поверхностей детали должны соответствовать нормальному ряду длин и диаметров, что позволяет изготавливать их стандартным инструментом;
- обеспечение удобного подхода режущего инструмента к обрабатываемым поверхностям;

- возможность применения наиболее производительных способов механической обработки;

- четкое разделение поверхностей, обрабатываемых на различных операциях, различным инструментом и с разной степенью точности;

- наличие удобных баз для контроля размеров изделия.

К деталям, изготавливаемым с помощью *литья*, предъявляют следующие требования:

- сводить к минимуму механическую обработку литых деталей;

- конструкция отливки должна обеспечивать простое и удобное изготовление формы;

- упрощать форму отливок, контуры деталей и внутренних полостей рекомендуется образовывать простейшими линиями – прямыми, дугами окружностей и т.д.;

- учитывать сокращение размеров отливки при остывании (усадку);

- форма отливки должна обеспечивать всплывание неметаллических включений и выход газов, выделяющихся при остывании отливки;

- избегать выполнения в литье отверстий малого диаметра и большой длины;

- стенки отливок должны иметь наименьшую толщину, допускаемую условиями литья и прочности детали.

К деталям, изготавливаемым *штамповкой*, предъявляют следующие требования:

- конструкторская база любого элемента детали должна быть выбрана таким образом, чтобы ее можно было использовать в качестве технологической;

- для всех элементов детали, штамповка которых осуществляется в одном штампе, должна быть выбрана одна конструкторская база (для установки размеров одного направления), она принимается при базировании в штампе в качестве опорной базы;

- выбор конструкторских баз и простановка размеров должны осуществляться таким образом, чтобы максимальное число элементов детали можно было штамповать на стадии изготовления плоской заготовки (до формоизменяющих операций, таких как гибка, вытяжка и т.д.);

- размеры выступов, впадин, сопряжений и отверстий плоских деталей должны быть не ниже наименьших значений, рекомендуемых в справочной литературе.

К деталям, изготавливаемым с помощью *гибки*, предъявляют следующие требования:

- учитывать соответствие радиуса гибки значениям, при которых обеспечивается изгиб заготовки без её разрушения;

- следует учитывать утонение заготовки;

- при гибке деталей из профилей и труб следует учитывать изменение формы поперечного сечения.

Требования, предъявляемые к деталям, изготавливаемым вытяжкой:

- следует обеспечивать плавные сопряжения между стенками и дном детали;

- для успешной реализации операции вытяжки следует выполнять определенные соотношения размеров заготовки и детали;

- если во фланце или в дне детали расположены отверстия, то кромка отверстия должна находиться за пределами криволинейной поверхности фланца.

Качественная оценка технологичности *сборочной единицы* предусматривает:

- 1) анализ формы, размеров и показателей точности сборочной единицы и входящих в нее элементов;

- 2) анализ материалов, из которых изготовлены элементы сборочной единицы;

- 3) анализ конструкции сборочной единицы и входящих в нее элементов;

- 4) оценку возможности механизации и автоматизации сборочных операций.

Качественная оценка технологичности конструкции сборочной единицы проводится по следующим критериям:

- сложность геометрической формы (образована линейчатыми и не линейчатыми поверхностями, в форме тел вращения и т.д.);

- рациональность технологического членения (возможность дифференциации сборочных работ);

- требования к точности и взаимозаменяемости контуров изделия (контуров обводов, стыков, продольного и поперечного набора);

- возможность использования одной из составных частей в качестве базовой для расположения остальных частей;

- возможность сборки без промежуточных разборок;

- возможность применения типовых технологических процессов сборки;

- возможность применения прогрессивных методов сборки;

- возможность применения компенсации при сборке;

- свободный подход к соединяемым агрегатам по разъемам и стыкам;

- свободный подход к соединениям, местам контроля и регулировки;

- степень соответствия размеров изделия технологическим возможностям оборудования;

- конструктивные выполнения соединений (вид соединения, прямолинейные швы, шаг заклепок, применение герметизации и т.д.);

- конструктивное выполнение деталей каркаса (постоянные или переменные малки, наличие подсечек и т.д.);

- применение монолитных панелей;
- расположение элементов конструкции (параллельно, по процентным линиям, в плоскостях, проходящих через ось и т.д.);
- применение стандартных и унифицированных элементов;
- вид применяемых материалов и их технологические свойства;
- конструктивное выполнение стыков и их технологические свойства.

Обеспечение качественных требований к технологичности конструкций является необходимым, но недостаточным условием отработки конструктивно-технологических решений при создании изделий. Окончательное решение по выбору наиболее технологичного варианта изделия может быть принято только по результатам количественной оценки технологичности конструкции.

4.3. Количественная оценка технологичности

Количественная оценка требует наличия специальной системы показателей и методов их расчета.

Необходимость количественной оценки технологичности конструкции, а также номенклатура показателей и методика их определения устанавливаются в зависимости от вида изделия, типа производства и стадии разработки конструкторской документации отраслевыми стандартами или стандартами предприятий [30]. Количество показателей должно быть минимальным, но *достаточным* для оценки технологичности конструкции.

Количественная оценка производится с помощью базовых, частных и комплексных показателей.

Базовый показатель – показатель, принятый за исходный при оценке технологичности.

Частный показатель – показатель технологичности, характеризующий одно из входящих в нее свойств.

Комплексный показатель – показатель технологичности, характеризующий несколько входящих в нее частных или комплексных свойств.

По способу выражения показатели технологичности могут быть *абсолютными* или *относительными*.

Уровень технологичности конструкции определяется отношением *показателя технологичности разрабатываемой конструкции* к соответствующему *базовому показателю*.

По значимости показатели технологичности делятся на основные и дополнительные.

Основными показателями технологичности являются:

- 1) Абсолютное значение трудоемкости изготовления изделия $T_{И}$.
- 2) Абсолютное значение технологической себестоимости изготовления изделия $C_{Т.И}$.

3) Показатель уровня технологичности по трудоемкости

$$K_T = T_{И} / T_{И.Б} ,$$

где $T_{И}$ – ожидаемая трудоемкость нового изделия; $T_{И.Б}$ – трудоемкость базового изделия.

4) Показатель уровня технологичности по технологической себестоимости

$$K_{СТ} = C_{Т.И} / C_{Т.И.Б} ,$$

где $C_{Т.И}$ – ожидаемая технологическая себестоимость нового изделия; $C_{Т.И.Б}$ – технологическая себестоимость базового изделия.

Дополнительные показатели технологичности:

1) Удельная трудоемкость изготовления изделия

$$t_{И} = T_{И} / P ,$$

где P – значение основного технического параметра (масса, объем, грузоподъемность и т.д.).

2) Относительная трудоемкость вида технологического процесса (механообработка, штамповка и т.д.)

$$t_{В.Т} = T_{В.Т} / T_{И} ,$$

где $T_{В.Т}$ – трудоемкость данного вида технологического процесса изготовления деталей или сборки.

3) Удельная технологическая себестоимость

$$C_T = C_{Т.И} / P .$$

4) Коэффициент стандартизации сборочных единиц изделия

$$K_{С.С} = N_{С.С} / N_C ,$$

где $N_{С.С}$ – количество стандартных сборочных единиц; N_C – общее количество сборочных единиц.

5) Коэффициент стандартизации деталей

$$K_{С.Д} = N_{С.Д} / N_D ,$$

где $N_{С.Д}$ – количество стандартных деталей; N_D – общее количество деталей.

6) Коэффициент использования материала

$$K_{И.М} = M_{И} / M_З ,$$

где $M_{И}$ – масса изделия; $M_З$ – масса заготовки.

7) Коэффициент применения типовых технологических процессов

$$K_{Т.П} = N_{Т.П} / N_{П} ,$$

где $N_{Т.П}$ – число типовых технологических процессов; $N_{П}$ – общее число технологических процессов.

Кроме того, в самолетостроении применяются специфические показатели:

1) Коэффициент панелирования

$$K_{\Pi} = F_{\Pi} / F_{\Pi.Л},$$

где F_{Π} – площадь панелей, выделенных в отдельные сборочные единицы; $F_{\Pi.Л}$ – площадь поверхности планера.

2) Коэффициент прессовой клепки

$$K_{пр} = N_{К.П} / N_{О},$$

где $N_{К.П}$ – количество заклепок, расклепывание которых можно выполнить на клепальных прессах; $N_{О}$ – общее количество заклепок.

При оценке технологичности бортовых систем самолета используется коэффициент насыщенности площади сечения, равный отношению суммы площадей сечения, занятых оборудованием, к общей свободной площади сечения. Кроме того, используется коэффициент внестапельных работ, равный отношению трудоемкости внестапельных работ к общей трудоемкости монтажных работ.

Эксплуатационная технологичность количественно оценивается системой показателей, которые подразделяют на оперативные и экономические показатели.

К *оперативным* показателям относятся: среднее время восстановления; вероятность восстановления изделия; коэффициент готовности и др.

К *экономическим* показателям относятся: средние затраты денежных средств на техническое обслуживание и ремонт; удельные затраты на техническое обслуживание и ремонт и др.

В качестве интегрального показателя эффективности отработки изделий на технологичность и применения специальных методов повышения качества и надежности самолета может служить следующий показатель:

$$K_{эф} = \frac{G \cdot V_{кр} \cdot R}{S_{оп} + S_{сер} + S_{экс}} \rightarrow \max,$$

где G – полезная нагрузка; $V_{кр}$ – крейсерская скорость самолета; R – ресурс; $S_{оп}$ – затраты на создание опытного самолета; $S_{сер}$ – затраты на создание серийного самолета; $S_{экс}$ – затраты на эксплуатацию.

Показатели технологичности характеризуют эффективность конструктивных и технологических решений с точки зрения обеспечения высокой производительности и рационального расходования средств на всех стадиях жизненного цикла изделия.

При выборе базовых показателей технологичности изделий-аналогов необходимо учитывать современное состояние и прогнозировать развитие техники на ближайшие годы, учитывая объем и тип производства, а также направления его совершенствования.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию "технологичность конструкции изделия".
2. Назовите виды технологичности.
3. Что характеризует технологическая рациональность конструкции?
4. Назовите основные этапы обеспечения технологичности.
5. Цель отработки конструкции изделия на технологичность.
6. Какие факторы определяют требования по технологичности?
7. Требования, предъявляемые к деталям, изготавливаемым штамповкой.
8. Сущность качественной оценки технологичности конструкции изделий.
9. Сущность количественной оценки технологичности конструкции изделий.
10. Назовите основные показатели технологичности.
11. Назовите дополнительные показатели технологичности.
12. Назовите специфичные для самолетостроения показатели производственной технологичности.
12. Какие показатели технологичности относятся к оперативным показателям?

5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ САМОЛЕТОВ

5.1. Основные понятия и определения

Взаимозаменяемость – свойство деталей и сборочных единиц одного и того же типоразмера заменять друг друга в изделии.

При этом должны обеспечиваться:

- идентичность формы и размеров (геометрические параметры);
- идентичность выполняемых функций;
- идентичность по физико-механическим параметрам;
- возможность сборки без дополнительной подгонки.

Различают следующие виды взаимозаменяемости:

- *полная* – замена производится без пригонки;
- *неполная* (частичная) – при сборке требуется использование пригоночных работ;
 - *внутренняя* – взаимозаменяемость деталей и узлов, входящих в более крупные сборочные единицы;
 - *внешняя* – взаимозаменяемость по эксплуатационным стыкам, например, отсеки фюзеляжа. Внешняя взаимозаменяемость всегда полная.

Обеспечение взаимозаменяемости зависит от способов образования размеров:

- 1) способ *зависимого* (связанного) образования размеров;

2) способ *независимого* (несвязанного) образования размеров.

Образование размеров сопрягаемых деталей A и B по первому способу имеет общие для обоих размеров этапы, число которых p . Каждая из ветвей образования конечного размера A и B имеет свое число этапов, обозначенное соответственно буквами q и r .

Поля производственных погрешностей каждого из размеров и увязки двух размеров между собой могут быть описаны следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}\delta_A &= \sum_{i=1}^p \delta_i + \sum_{j=1}^q \delta_j ; \\ \delta_B &= \sum_{i=1}^p \delta_i + \sum_{\kappa=1}^r \delta_{\kappa} ; \\ \delta_{AB} &= \sum_{j=1}^q \delta_j + \sum_{\kappa=1}^r \delta_{\kappa} ,\end{aligned}$$

где δ_A , δ_B – поля производственных погрешностей размеров A и B соответственно; δ_{AB} – поле производственной погрешности увязки размеров A и B ; δ_i , δ_j , δ_{κ} – поля производственных погрешностей общих i и индивидуальных j и κ этапов.

Таким образом, поля погрешностей каждого размера образуются путем суммирования погрешностей всех общих и индивидуальных для каждого размера этапов.

Поля погрешностей общих для обоих размеров этапов не влияют на точность увязки обоих размеров между собой.

Из приведенных выше уравнений можно найти условия, при которых точность увязки размеров A и B выше точности каждого из этих размеров:

$$\begin{aligned}\delta_{AB} \leq \delta_A, \text{ если } \sum_{\kappa=1}^r \delta_{\kappa} \leq \sum_{i=1}^p \delta_i ; \\ \delta_{AB} \leq \delta_B, \text{ если } \sum_{j=1}^q \delta_j \leq \sum_{i=1}^p \delta_i .\end{aligned}$$

Следовательно, для того чтобы обеспечить высокую точность увязки размеров, необходимо все этапы, дающие большие погрешности в каждой из индивидуальных ветвей, перенести в общие для обоих размеров этапы.

В этом случае погрешность увязки будет меньше погрешности каждого из размеров.

Воспроизведение размеров сопровождается обработкой поверхностей, образующих заданную форму изделия. Операции переноса формы на рис. 5.1 показаны шестиугольниками, а размеров – окружностями.

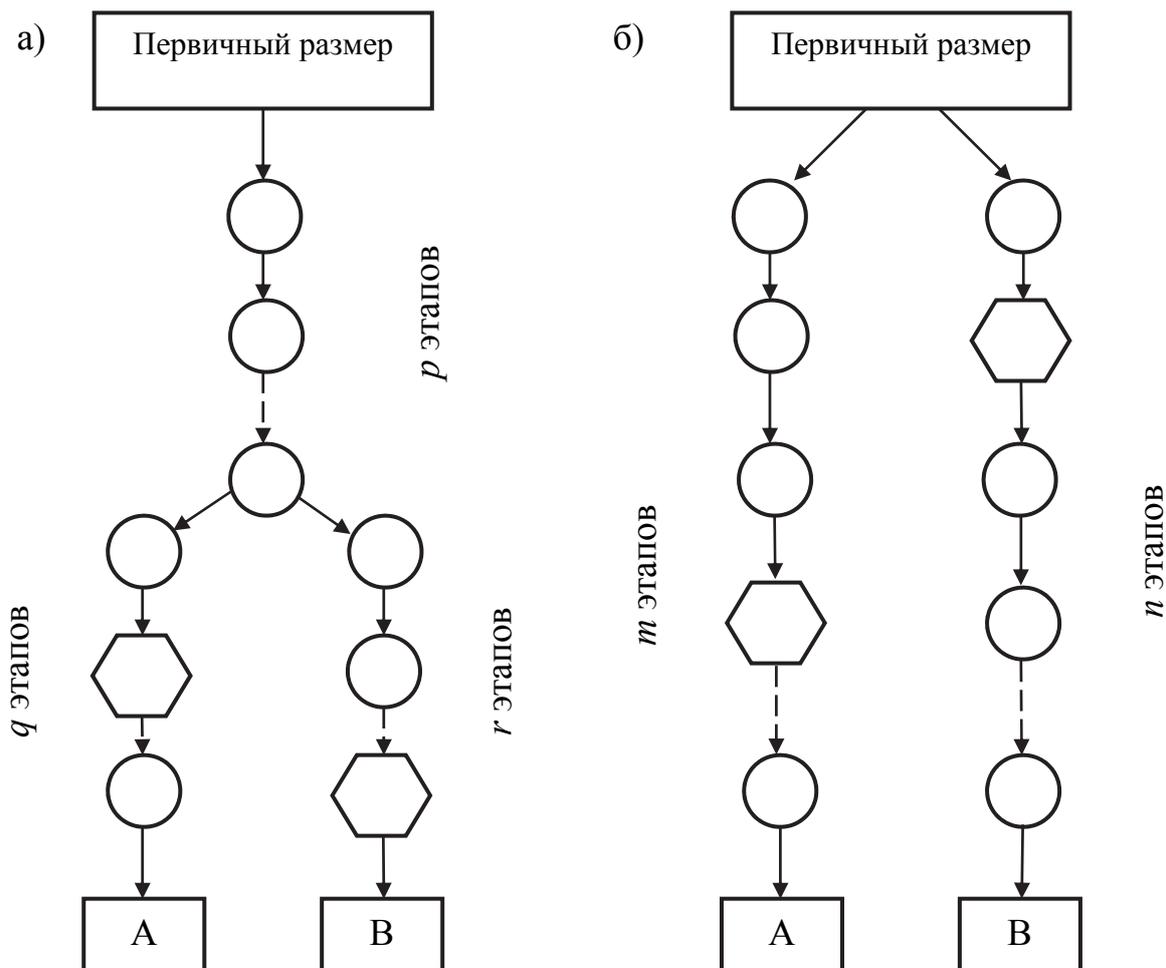


Рис. 5.1. Схемы образования размеров и форм:
а – связанное образование; *б* – несвязанное образование

Увязка на основе способа независимого образования размеров и форм изделий (см. рис. 5.1, *б*) не содержит общих этапов переноса каждого из размеров. В этом случае перенос размеров *A* и *B* осуществляется независимо друг от друга при разном числе индивидуальных этапов ($m \neq n$) и поле погрешностей увязки размеров *A* и *B*:

$$\delta_{AB} = \sum_{j=1}^m \delta_j + \sum_{\kappa=1}^n \delta_{\kappa},$$

где δ_j , δ_{κ} – поля производственных погрешностей *j*-го и *κ*-го этапов переноса размеров *A* и *B*.

Погрешность увязки определяется точностью размеров увязываемых деталей. Для уменьшения погрешности следует повышать точность изготовления деталей.

Схемы и методы увязки

Для обеспечения согласования геометрических параметров технологической оснастки, деталей и сборочных единиц планера разрабатываются схемы увязки [27].

Схема увязки – графическое изображение последовательности этапов переноса геометрических параметров от первоисточника размеров с помощью средств увязки на объекты увязки.

Исходными данными для разработки схем увязки являются:

- требования к точности выполнения обводов, разъемов и стыков деталей и сборочных единиц;
- директивные технологические процессы изготовления деталей и сборки узлов и агрегатов;
- чертежи технологической оснастки, деталей и сборочных единиц планера на электронном или бумажном носителе;
- перечень взаимозаменяемых деталей и сборочных единиц;
- схемы сборки;
- производственная программа выпуска самолетов;
- характеристика производственных условий предприятия-изготовителя.

Содержание схем увязки зависит от принятого метода увязки, увязываемых геометрических параметров и перечня деталей и сборочных единиц, взаимозаменяемость которых следует обеспечить.

В процессе увязки используются четыре группы элементов:

- 1) первоисточники увязки,
- 2) средства увязки,
- 3) средства технологического оснащения,
- 4) объекты увязки.

Первоисточники увязки (размеров) – первичный носитель увязанных значений геометрических параметров технологической оснастки, деталей и сборочных единиц планера.

Средства увязки – средства переноса увязанных значений геометрических параметров с первоисточника увязки на последующие носители форм и размеров.

Средства увязки делятся на универсальные и специальные.

Универсальные (инструментальные):

- универсальные измерительные инструменты и приборы (линейки, штангенциркули, микрометры);
- плаз-кондукторы;
- инструментальные стенды;
- координатно-измерительные машины (КИМ);
- оптические и лазерные приборы и устройства.

Специальные средства увязки создаются для увязки размеров элементов конкретного летательного аппарата, делятся на две группы:

- 1) плоские,
- 2) объемные.

Плоские средства увязки – шаблоны, плоские носители форм и размеров, применяемые для увязки геометрических параметров по сечениям в одной плоскости.

Объемные средства увязки – объемные носители форм и размеров, применяемые для пространственной увязки геометрических параметров.

К объемным средствам увязки относятся:

- макеты (эталонные) и контрмакеты деталей и сборочных единиц;
- макеты и контрмакеты разъемов (калибры стыков);
- слепки и контрслепки поверхностей деталей, узлов и агрегатов.

Объекты увязки:

- заготовки;
- детали, сборочные единицы, элементы бортовых систем;
- технологическая оснастка.

К увязываемым элементам оснастки относятся:

- обводообразующие и фиксирующие элементы увязочной оснастки (шаблонов, эталонных);
- обводообразующие элементы заготовительной и штамповочной оснастки (формблоков, штампов, гибочных и обтяжных пуансонов);
- базовые элементы сборочной оснастки (рубильники, ложементы).

Количество возможных сочетаний видов первоисточников и видов средств увязки определяет количество возможных *методов* увязки. В настоящее время существует около 12 методов увязки.

Методы увязки классифицируют по следующим признакам.

По виду первоисточников увязки:

- чертежные,
- плазовые,
- эталонные,
- программные.

По виду средств увязки:

- методы плоской увязки,
- методы объемной увязки,

По содержанию процесса увязки:

- зависимые,
- независимые.

5.2. Способы построения поверхностей

Летные характеристики самолета зависят от его аэродинамической формы, которая характеризуется двумя основными понятиями – обводом и контуром поверхности.

Под *обводом* понимается поверхность планера летательного аппарата, обтекаемая воздушным потоком в полете.

Контур – линия пересечения обвода плоскостью.

Теоретический обвод (контур) определяется расчетами и продувками в аэродинамической трубе и задается в конструкторской документации.

Действительный обвод (контур) получается в результате сборки узлов, агрегатов, планера.

Сведения о теоретических контурах содержатся в теоретических чертежах.

Теоретические обводы планера летательного аппарата образуются сочетаниями различных поверхностей.

Аэродинамические обводы летательных аппаратов или его частей в теоретических чертежах задаются в пространственной прямоугольной системе координат (рис. 5.2).

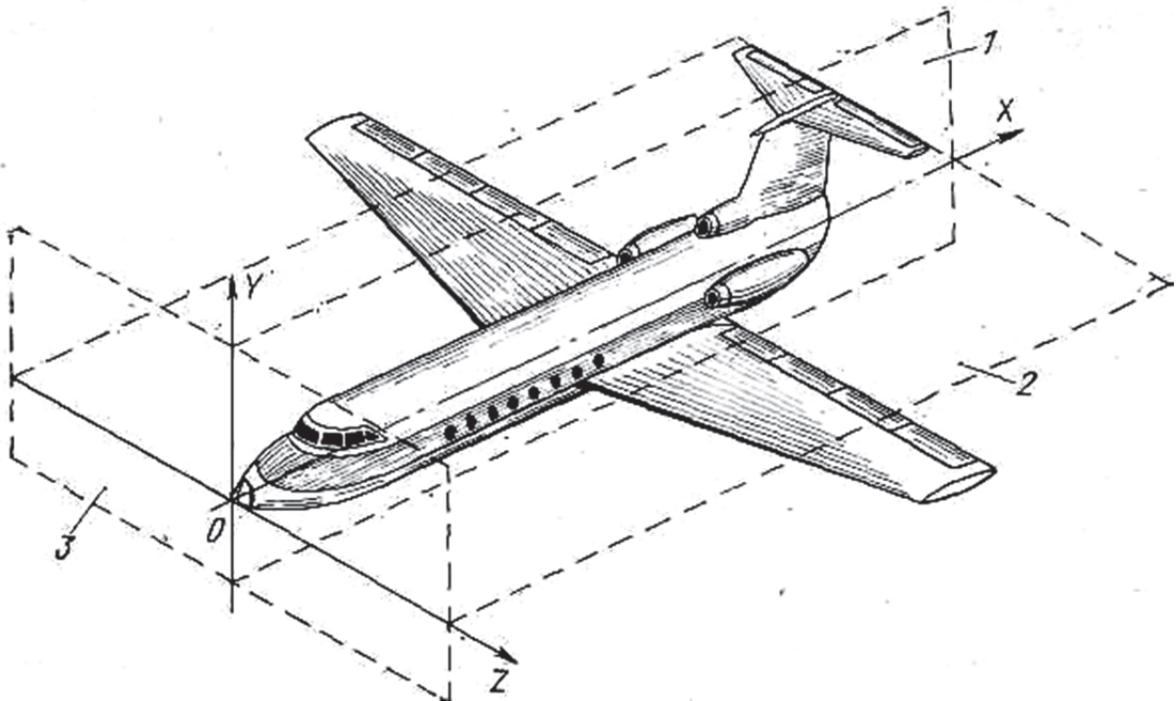


Рис. 5.2. Основные плоскости и координатные оси:
1 – плоскость симметрии; 2 – плоскость строительной горизонтальной; 3 – плоскость дистанции

Начало координат O совмещается с крайней передней точкой самолета (агрегата). Соответственно выбирается система координатных осей и плоскостей.

Ось X является осью самолета, расстояния, откладываемые по ней, называются дистанциями. Ось Y является осью симметрии, а плоскость XOY является *плоскостью симметрии самолета* (П.С.С.). Ось Z направлена по размаху крыла самолета и находится в горизонтальной плоскости ZOX , называемой *строительной горизонталью самолета* (С.Г.С). Торцевая плоскость YOZ называется *плоскостью нулевой дистанции*.

Построение обводов и контуров самолета является достаточно сложной задачей. Способы задания и построения обводов и контуров постоянно совершенствовались с развитием математических методов. В настоящее время при построении обводов и контуров используется компьютерная техника.

Применяемые в настоящее время способы задания аэродинамических поверхностей можно разделить на каркасные и кинематические (рис. 5.3) [5, 26].



Рис. 5.3. Основные способы задания поверхностей в авиа- и ракетостроении

Каркасным называется способ задания поверхности совокупностью лежащих на ней линий. Однозначное определение точки поверхности возможно лишь на линии каркаса. Каркасные способы основаны на приемах

построений, применяемых в начертательной геометрии, а также на задании и аппроксимации плоских обводов методами аналитической геометрии, вычислительной математики и др.

При кинематическом способе поверхность задается движением линии (постоянной или переменной формы) в пространстве по определенному закону.

Как при каркасных, так и при кинематических способах задания поверхностей последние определяются формой и взаимным расположением некоторого числа линий (контуров).

На практике применяют три способа задания контуров: графический, табличный и аналитический.

Точечное задание контуров в основном применялось при задании исходных профилей линейчатых поверхностей крыла, оперения и других поверхностей. Необходимое для воспроизведения контура с достаточной степенью точности количество точек определяется различными интерполяционными способами, причем в качестве опорных используются исходные точки профиля. Координаты точек записываются в специальные таблицы.

Графическое задание контура применяется при использовании классического плазового способа батоксов и горизонталей, который позволяет увязать и построить контуры агрегатов с помощью ряда взаимноперпендикулярных плоскостей, которые рассекают агрегат (рис. 5.4).

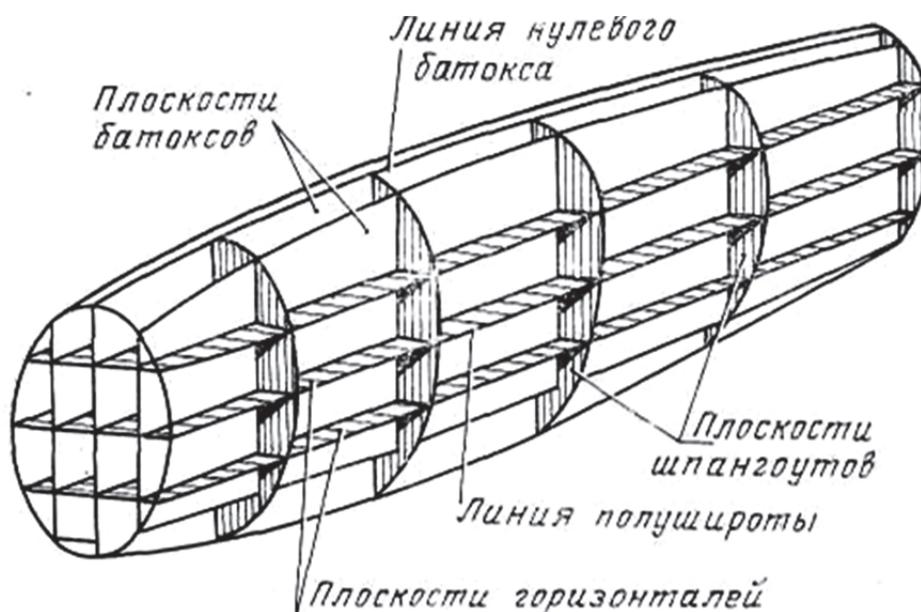


Рис. 5.4. Плоскости батоксов и горизонталей

Батоксы и горизонталы – линии, образованные в результате пересечения теоретической поверхности планера или агрегата плоскостями, параллельными основным плоскостям.

Горизонтальные плоскости, параллельные строительной горизонтали, называются плоскостями *горизонталей*, вертикальные плоскости, параллельные плоскости симметрии самолета, – плоскостями *батоксов*, плоскости поперечных сечений – *плоскостями шпангоутов* (для фюзеляжа) или *плоскостями нервюр* (для крыла, оперения).

Средний батокс, совпадающий с плоскостью симметрии, называется *нулевым батоксом*, а внешние линии пересечения его с плоскостями шпангоутов – *линиями нулевого батокса*. Горизонталь, совпадающая со строительной горизонталью, называется *нулевой горизонталью*.

Форма каждого контура сечения поверхности определяется последовательным процессом увязки и достижения плавности контуров путем многократных графических построений (рис. 5.5).

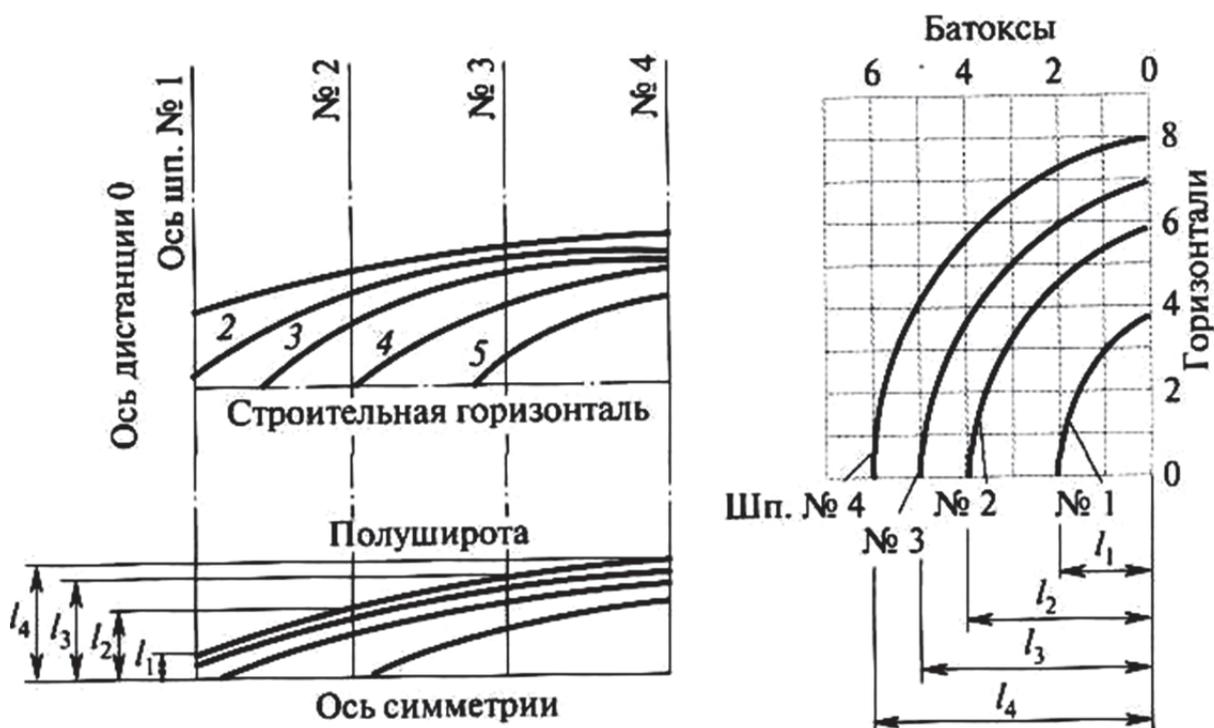


Рис. 5.5. Задание поверхности способом батоксов и горизонталей

Графическая информация на плазе о форме и размерах поверхности служит основным источником информации о поверхности, которая затем переносится на заготовительную и сборочную технологическую оснастку и элементы конструкции посредством шаблонов и эталонов.

При аналитическом задании графическая линия теоретического контура, определяемая конечным числом точек, с помощью математических методов заменяется совокупностью аналитических зависимостей, т. е. подвергается кусочной аппроксимации. В точках стыка смежных аналитических кривых добиваются соблюдения условий первого, или лучше второго порядка гладкости.

При аналитическом задании контуров применяются кривые второго порядка, степенные и тригонометрические функции, полиномы различных степеней, трансцендентные уравнения и др. В последнее время наибольшее распространение получили сплайн-функции и их разновидности.

Для задания поверхностей сложной формы широко применялся метод кривых второго порядка.

Уравнение кривой второго порядка в общем виде представляется зависимостью $ax^2 + 2bxy + 2dx + 2ey + 1 = 0$. Известно, что для определения кривой второго порядка необходимо и достаточно пяти геометрических условий: пяти точек кривой, пяти касательных или комбинации точек и касательных, если их общее число равно пяти. В число условий может также входить радиус кривизны, полученный в определенной точке, и другие геометрические параметры.

В инженерной практике кривая второго порядка задается в большинстве случаев двумя касательными в начальной и конечной точках и дополняется инженерным дискриминантом $f = \frac{ED}{BD}$ (рис. 5.6, а).

Способы задания контуров методом кривых второго порядка представлены на рис. 5.6.

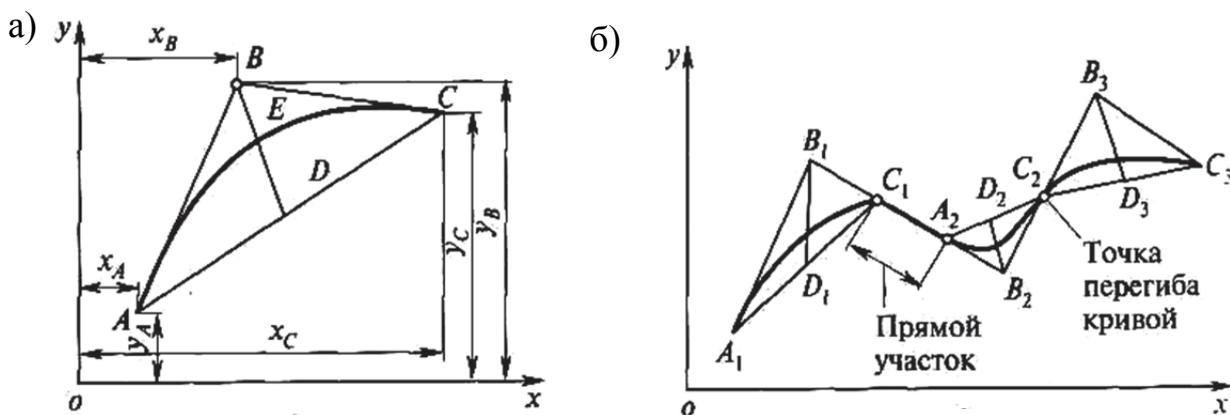


Рис. 5.6. Способы задания контуров методом кривых второго порядка:
 а – задание кривой второго порядка; б – задание сложного контура кривыми второго порядка

Способы задания контуров методом сопряженных дуг эллипсов представлены на рис. 5.7.

Опираясь на аналитические способы задания контуров, принадлежащих аэродинамическим поверхностям, выбирается тот или иной способ построения этих поверхностей.

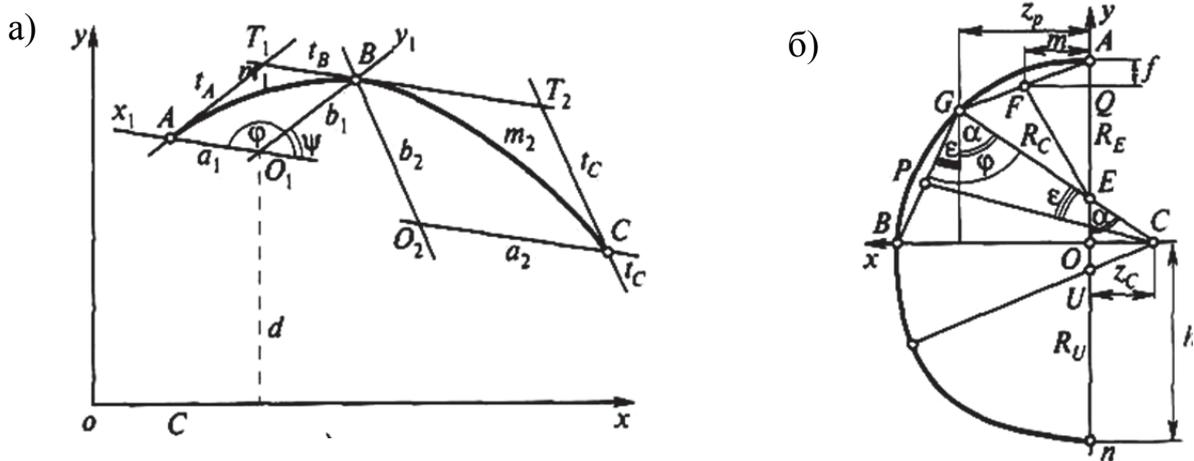


Рис. 5.7. Способы задания контуров: *a* – задание контура сопряженными дугами эллипса; *б* – задание контура сопряженными дугами окружностей

Линейчатые поверхности, в частности поверхности крыла, определяются, если заданы контуры исходных профилей $y = f_I(x)$ и $y = f_{II}(x)$, угол стреловидности α , абсолютные величины хорд корневого и концевого сечений b_I и b_{II} , угол геометрической крутки (рис. 5.8, *a*).

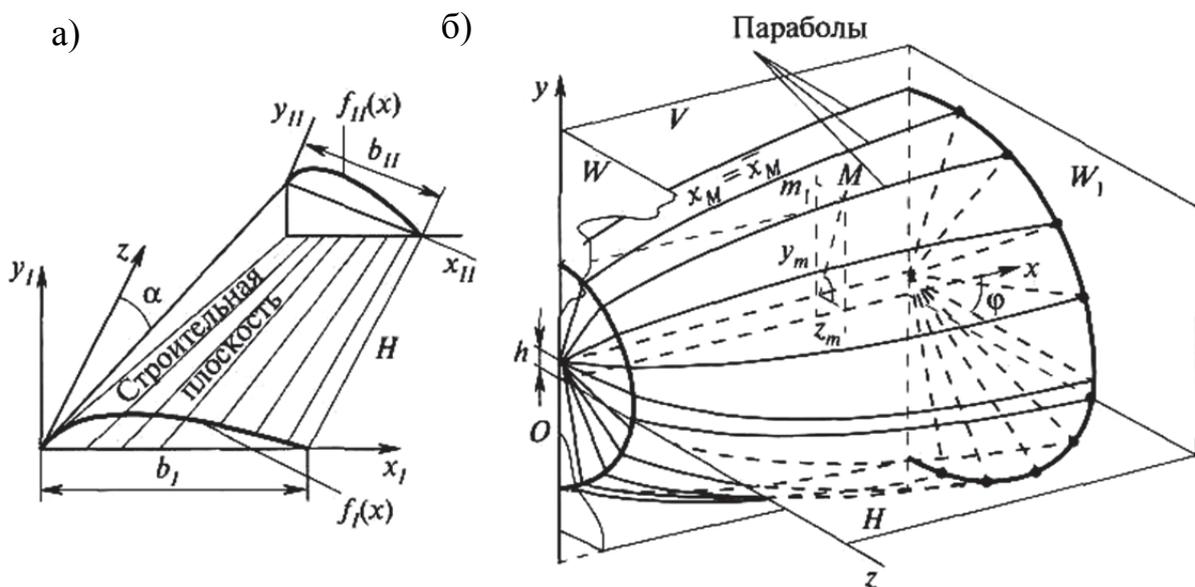


Рис. 5.8. Способы задания поверхностей:
a – задание линейчатых поверхностей;
б – задание криволинейных поверхностей

Задание криволинейных поверхностей является более сложной задачей. При каркасном задании широко применяется аналитический способ аппроксимации поверхности. Сущность способа заключается в задании

дискретного каркаса продольными лучевыми сечениями поверхности. Опорными точками для нахождения аналитических зависимостей для линии каркаса служат точки пересечения продольных лучевых плоскостей с контурами исходных поперечных формообразующих сечений первичного каркаса (рис. 5.8, б).

В настоящее время в качестве основного рассматривается кинематический способ задания поверхностей. Кинематические поверхности образуются непрерывным движением линий. Линия, движение которой создает поверхность, называется образующей. Линия, задающая траекторию движения образующей, называется направляющей. В общем случае образующая и направляющая являются кривыми различных порядков, причем образующая по мере перемещения может деформироваться по определенному закону (рис. 5.9, а). Линейчатые поверхности (рис. 5.9, б, в, г) являются частными случаями.

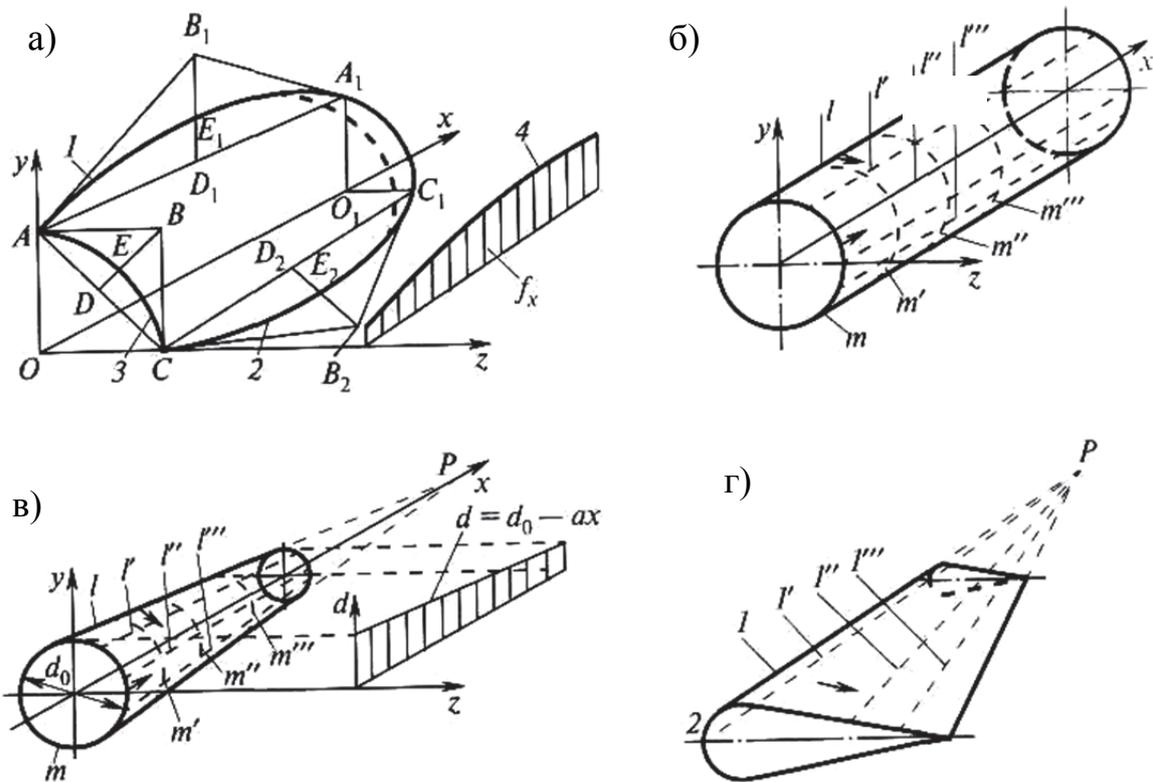


Рис. 5.9. Кинематические способы задания поверхностей:
 а – кинематическая поверхность двойной кривизны; (1, 2 – направляющие, 3 – образующая, 4 – кривая изменения инженерного дискриминанта вдоль оси X); б – кинематическая цилиндрическая поверхность; в – кинематическая коническая поверхность; г – кинематическая линейчатая поверхность

Определенные преимущества среди различных методов описания кривых в неявном виде имеет параметрический метод.

Основные преимущества параметрического метода:

- более простое вычисление координат по изменяющимся значениям параметров кривой;
- упрощение расчета при обработке информации при воспроизведении кривых на графическом дисплее;
- простота осуществления операций "преобразования" объекта: сдвиг, вращение, масштабирование, симметрия за счет использования операций преобразования векторов, непосредственно задающих исходную кривую;
- широкая распространенность описания гладких обводов в различных методах (кривые второго порядка, Фергюсона, Безье, Кунса и др.) в системах автоматизированного проектирования.

Широко используются параметрические способы задания поверхностей при разработке теоретических обводов самолета.

В связи с развитием информационных технологий в настоящее время теоретические обводы задаются в виде трехмерной электронной геометрической модели поверхности.

Первоисточником геометрической информации служит математическая модель поверхности, образованная совокупностью данных и алгоритмов для однозначного определения геометрических параметров произвольной точки поверхности. Применение компьютерных технологий позволяет повысить точность увязки теоретических и конструктивных контуров, уменьшить количество увязочной оснастки.

На основе геометрических моделей создаются электронные модели деталей, сборочных единиц и элементов бортовых систем. Таким образом, увязка теоретических и конструктивных контуров выполняется в электронном виде.

Электронные модели хранятся в базе данных проекта изделия и предназначены для решения задач в процессе проектирования, технологической подготовки и производства самолета.

5.3. Плазово-шаблонный метод увязки

Плазово-шаблонный метод (ПШМ) обеспечения взаимозаменяемости был позаимствован в кораблестроении и позволил осуществлять серийное производство самолетов с требуемым качеством длительное время. Этот метод и его разновидности еще используются в современном самолетостроительном производстве.

Сущность плазово-шаблонного метода [5, 29]:

- 1) Использование связанного (зависимого) способа образования размеров сопрягаемых деталей.

2) В качестве *первоисточника размеров* используется общее звено, несущее информацию о форме и размерах изделия в виде *теоретического плаза*.

3) В качестве средств увязки используется *комплект шаблонов*, с помощью которых информация с плазов переносится на заготовки, технологическую оснастку, производится контроль и др.

4) Увязка производится по отдельным сечениям.

Плаз – выполненный в натуральную величину чертеж элемента конструкции самолета.

В зависимости от назначения плазы делятся на теоретические и конструктивные.

Теоретический плаз (ТП) – плаз, на котором нанесены координатные и конструктивные оси и выполнен теоретический чертеж агрегата или узла самолета. Теоретический плаз служит для увязки теоретических контуров агрегатов и мест их стыковки, а также для изготовления конструктивного плаза.

Конструктивный плаз (КП) – плаз, на котором нанесены координатные, конструктивные оси, теоретический контур узла (агрегата) и контуры деталей (произведена конструктивная увязка деталей узла или агрегата).

В процессе создания плазов и в результате плазовой увязки уточняются чертежи деталей, узлов, агрегатов и в целом всего самолета.

По завершении увязки плазов производится изготовление шаблонов для деталей и всех видов технологического оснащения. Шаблоны изготавливаются комплектами.

Шаблон – плоский жесткий носитель форм и размеров деталей, узлов и агрегатов.

В зависимости от назначения шаблоны делятся на три группы:

- 1) основные,
- 2) эталонные,
- 3) производственные.

Основные и эталонные шаблоны применяются для изготовления, технологической увязки и контроля производственных шаблонов. Эти шаблоны хранятся в плазово-шаблонных цехах и в производственные цехи не выдаются.

Производственные шаблоны предназначаются для изготовления и контроля заготовительно-штамповочной, сборочной и контрольной оснастки, а также непосредственно для изготовления заготовок и деталей планера самолета.

Эталонный комплект шаблонов изготавливается тогда, когда изделие выпускается крупными сериями – производственные шаблоны быстро изнашиваются и требуют проверки и доработки.

Шаблоны изготавливаются из металлических листов толщиной 1,5-2 мм и окрашиваются в определенный цвет, в зависимости от назначения.

Основные шаблоны окрашиваются в красный цвет. Эталонные шаблоны – в желтый цвет. Производственные шаблоны для заготовительно-штамповочных цехов окрашиваются в черный цвет, а для цехов, изготавливающих сборочную оснастку, – в зеленый цвет.

Кроме форм и размеров шаблон является носителем и другой информации. На шаблон наносятся осевые линии, высота борта, значения малок, установочные, базовые отверстия и др.

К основным шаблонам относятся шаблон контрольно-контурный (ШКК) и отпечаток контрольный (ОК).

ШКК предназначен для конструктивной и геометрической увязки деталей, расположенных в плоскости узла; увязки и изготовления узлового комплекта шаблонов; увязки и изготовления шаблонов, необходимых для изготовления элементов сборочных приспособлений.

Форма и размеры ШКК, а также другая информация соответствует КП.

ОК используют для увязки, изготовления и контроля узлового и детального комплекта шаблонов.

При производстве самолетов используются следующие виды производственных шаблонов:

1) ШК – шаблон контура – соответствует наружному контуру детали, сопрягаемому с обшивкой, используется для изготовления шаблонов и контроля деталей;

2) ШВК – шаблон внутреннего контура – соответствует внутреннему контуру детали, используется для изготовления формблоков, пуансонов и оправок (рис. 5.10);

3) ШРД – шаблон развертки детали – соответствует контуру детали, развернутой на плоскости, используется для изготовления шаблонов, штампов, заготовок;

4) ШЗ – шаблон заготовки – представляет контур плоской заготовки для детали;

5) ШФ – шаблон фрезерования – соответствует контуру ШРД или ШЗ, используется для изготовления деталей и заготовок;

6) ШКС – шаблон контура сечения – соответствует контуру ШКК, ШК, ШВК, используется для изготовления и контроля оснастки сложной формы, деталей;

7) ШГ – шаблон гибки – соответствует контуру ШК или ШВК, используется, как правило, для деталей трубчатых или с одной кривизной;

8) ШОК – шаблон обрезки и кондуктор для сверления отверстий и обрезки контура;

9) ШП – шаблон приспособлений – соответствует контурам ШКК или ШК, используется для изготовления элементов сборочных приспособлений;

10) ШР – шаблоны разные – соответствуют контурам, которые не были учтены, создаются в зависимости от специфики и технологических особенностей самолета.

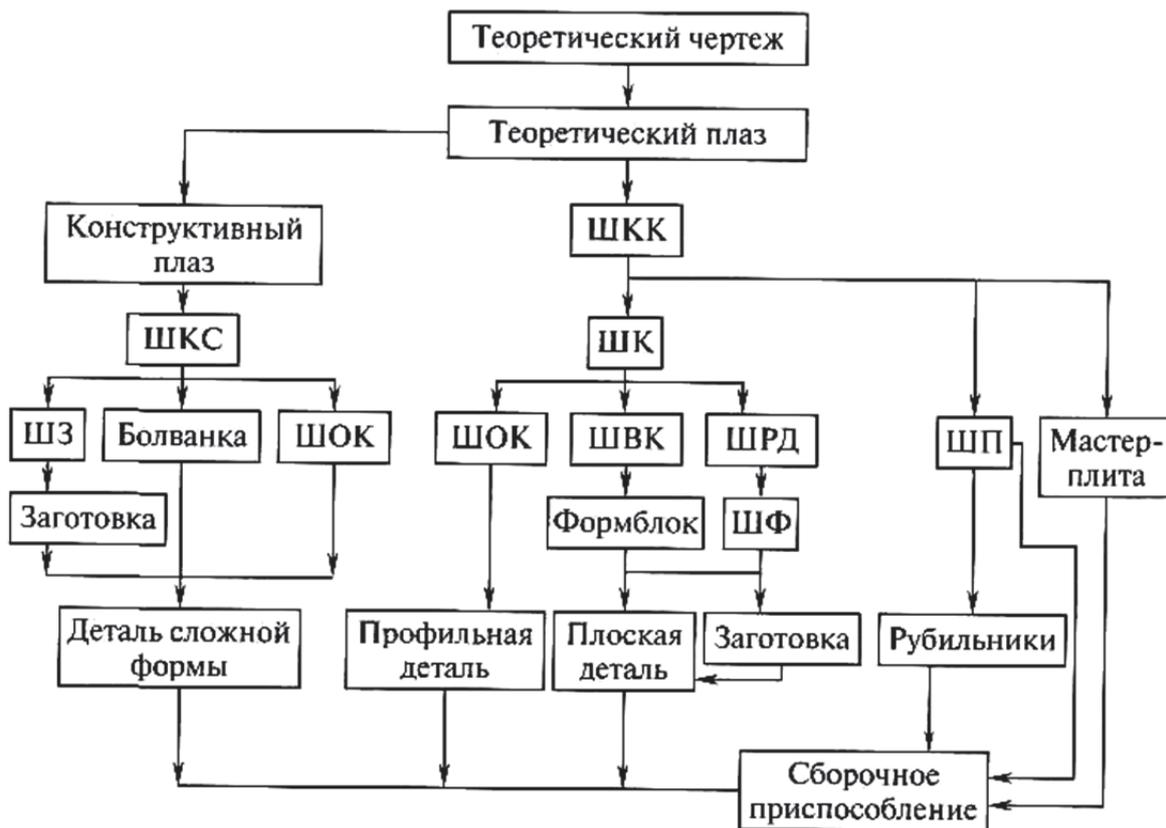


Рис. 5.11. Схема увязки оснастки по плазово-шаблонному методу

Под *малкой* (на шаблонах обозначается буквой "М") в самолетостроении понимают угол между нормалью к плоскости стенки и касательной в данной точке к внешней поверхности отбортованной детали (разница между действительным углом борта детали и углом 90°).

Малки (рис. 5.12) бывают *открытые* (положительные) ($M_{\text{отк}} = \alpha - 90^\circ$), *закрытые* (отрицательные) ($M_{\text{зак}} = \alpha - 90^\circ$) и *нулевые* ($M = 0^\circ$).

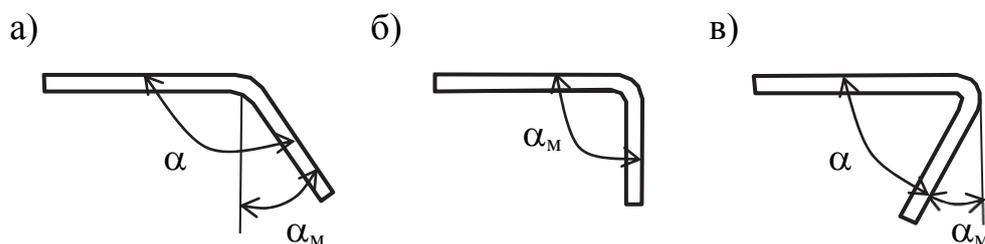


Рис. 5.12. Виды малок: а – открытая; б – нулевая; в – закрытая

Пример увязки комплекта шаблонов для изготовления плоской детали с бортом (например, средняя часть нервюры) представлен на рис. 5.13.

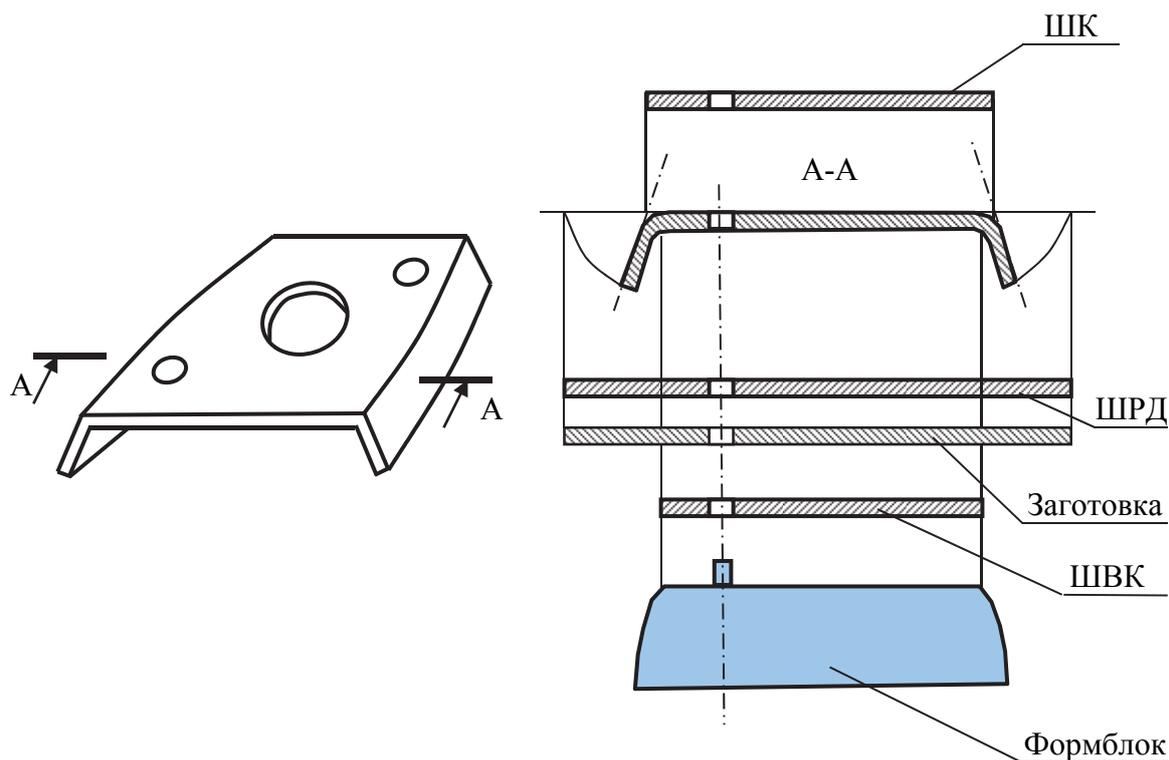


Рис. 5.13. Пример увязки комплекта шаблонов для изготовления плоской детали с бортом

Главными недостатками ПШМ являются обеспечение увязки только по сечениям, использование большого количества средств увязки и недостаточно высокий уровень точности размеров и взаимозаменяемости.

5.4. Эталонно-шаблонный метод увязки

Эталонно-шаблонный метод (ЭШМ) обеспечения геометрической взаимозаменяемости является развитием плазово-шаблонного метода и находит широкое применение при производстве легких и средних самолетов.

Сущность ЭШМ заключается в использовании для увязки форм и размеров заготовительно-штамповочной, сборочной и контрольной оснастки шаблонов и *объемных макетов* (эталонов) поверхности агрегатов и узлов планера летательных аппаратов [1, 5, 29].

Схема увязки форм и размеров деталей и технологической оснастки с использованием ЭШМ представлена на рис. 5.14.

В состав типовой номенклатуры эталонной оснастки входят:

- эталоны поверхности;
- контрэталоны;
- монтажные эталоны;
- эталоны деталей и узлов.

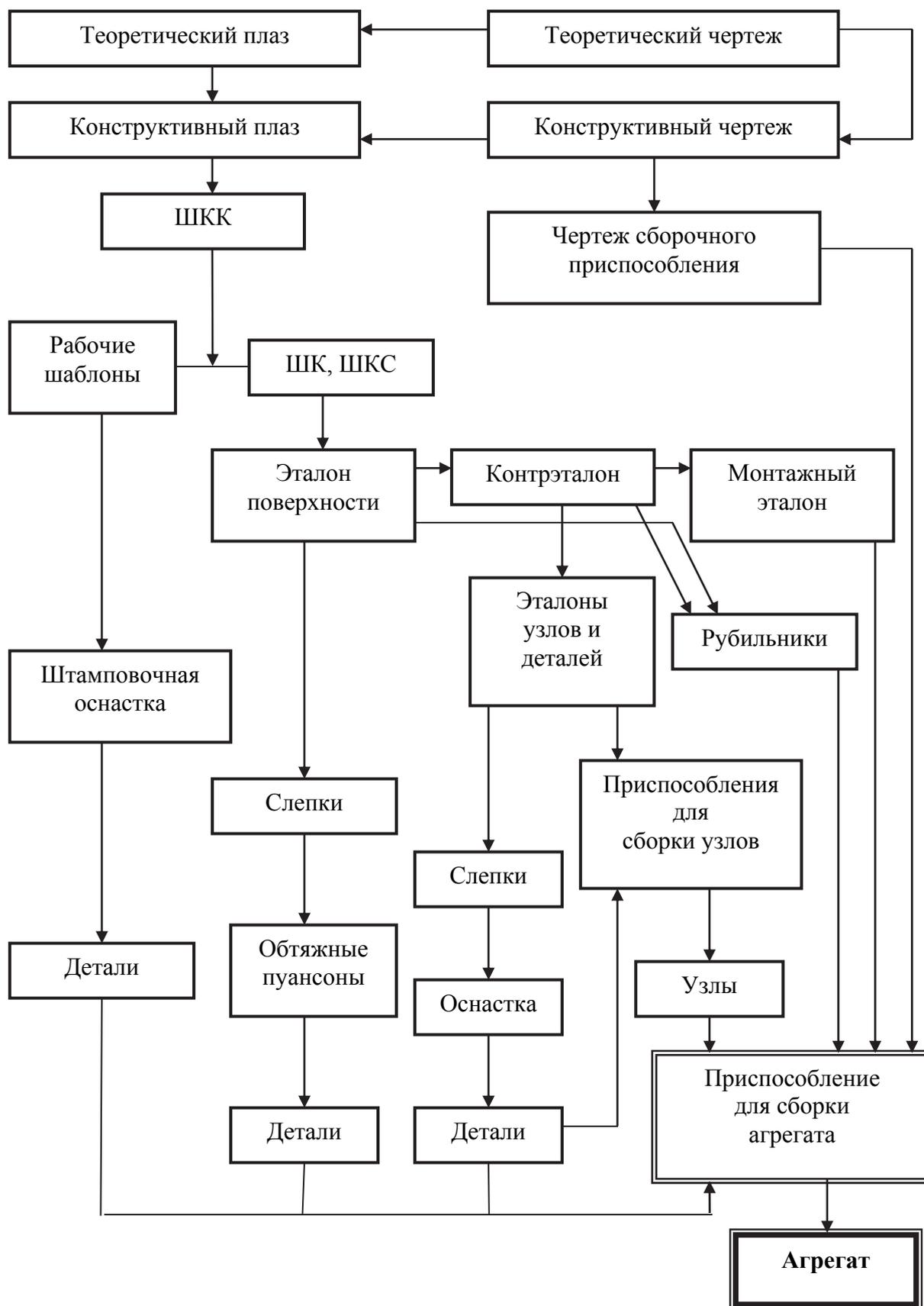


Рис. 5.14. Схема увязки форм и размеров деталей планера и технологической оснастки с использованием ЭШМ

Эталоны являются жесткими объемными носителями формы и размеров агрегата или его элементов.

Эталон поверхности воспроизводит наружную поверхность агрегата или его части (рис. 5.15, а). Он применяется для изготовления и периодической проверки контрэталона агрегата, рубильников сборочных приспособлений, а также слепков, предназначенных для выполнения обтяжных пуансонов, и другой технологической оснастки. Эталон поверхности представляет собой сборный, сварной или литой каркас с реперными точками для его установки в контрэталоне. Сверху каркас облицован листами из древесины или пластмассы и обработан по шаблонам вручную на копировальных станках или станках с ЧПУ.

Контрэталон называется приспособление (рис. 5.15, б), которое служит для изготовления и периодической проверки монтажного эталона, увязки эталона поверхности и монтажного эталона. Может использоваться для изготовления эталона поверхности части агрегата и для изготовления слепков.

Монтажным эталоном называется приспособление (рис. 5.15, в), воспроизводящее теоретические обводы не по всей поверхности, а только в местах расположения деталей каркаса, сопрягающихся с обшивкой или выходящих на аэродинамическую поверхность (например, в плоскостях нервюр, шпангоутов и др.).

Монтажный эталон воспроизводит также стыковые узлы сборочной единицы, с помощью которых она соединяется с другими частями планера и имеет реперные элементы для установки в сборочное приспособление.

Монтажный эталон служит для монтажа и периодической проверки сборочных приспособлений, а также увязки положения стыковочных узлов. Обводы монтажных эталонов выполняют методом слепка по контрэталону или обрабатывают по шаблонам. В настоящее время при изготовлении лекал монтажных эталонов используют станки с ЧПУ.

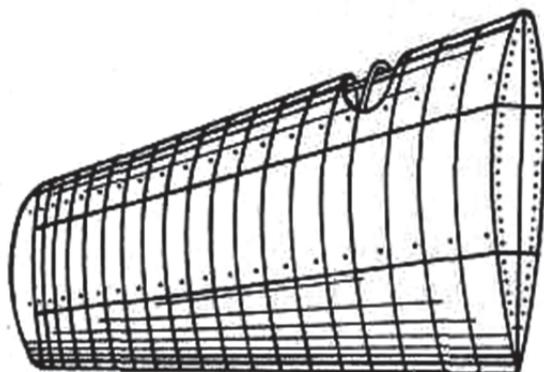
Эталоны деталей используют при изготовлении оснастки и контроле отдельных деталей, например, трубопроводов и патрубков.

Для расширения фронта работ при изготовлении технологической оснастки и повышения точности ее обработки монтажные эталоны иногда делают сборными. По отдельным частям разъемного монтажного эталона изготавливают и монтируют оснастку для изготовления панелей, узлов и деталей.

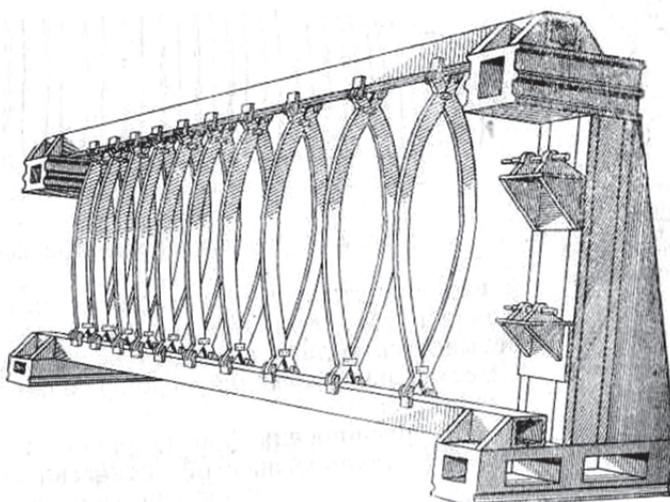
При серийном производстве самолета на нескольких заводах взаимозаменяемость его узлов и агрегатов при ЭШМ увязки достигается тем, что монтажный эталон ведомого завода изготавливается по контрэталону ведущего завода. Далее ведомый завод изготавливает у себя по монтажному эталону контрэталон агрегата, эталоны узлов и приспособления для сборки агрегата. Такая схема увязки технологической оснастки обеспечивает вза-

имозаменяемость агрегатов, изготовленных разными заводами по стыкам, контурам и нивелировочным данным, кроме того, снижает трудоемкость и сроки изготовления оснастки на ведомом заводе.

а)



б)



в)

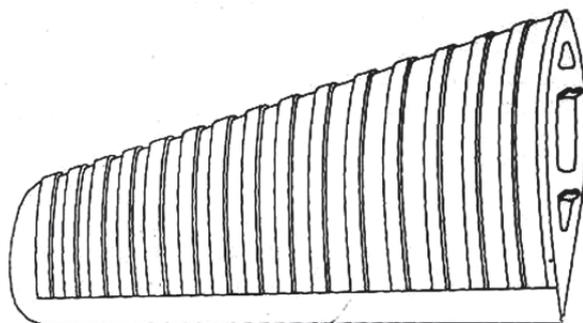


Рис. 5.15. Эталонная оснастка для крыла:
а – эталон поверхности; *б* – контрэталон; *в* – монтажный эталон

ЭШМ относится к зависимым методам увязки форм и размеров.

Первоисточником форм и размеров является *эталон поверхности*.

Увязка технологической оснастки при помощи ЭШМ имеет следующие преимущества:

- высокую степень взаимозаменяемости по обводам, разъемам и стыкам агрегатов;
- низкую стоимость технологической оснастки при малых габаритах агрегатов;
- упрощение системы кооперирования в производстве самолетов.

Однако имеются и недостатки:

- увеличение срока подготовки производства при запуске в серию нового самолета из-за длительности изготовления жестких эталонов;
- необходимость переделки большого количества оснастки в случае внесения изменений в конструкцию агрегата;
- высокая стоимость эталонов для агрегатов больших габаритов.

Широкое применение в производстве ЭВМ и станков с ЧПУ позволяет устранить некоторые недостатки ЭШМ. В настоящее время технический уровень современного авиационного производства позволяет выполнять некоторые этапы увязки форм и размеров без применения некоторых видов эталонов.

5.5. Методы объемной увязки

При производстве самолетов важной задачей является обеспечение взаимозаменяемости деталей и узлов бортового оборудования и прокладки коммуникаций. При использовании ПШМ и ЭШМ увязка элементов бортового оборудования и трассировка коммуникаций затруднена, так как они в основном предназначены для увязки контурообразующих элементов планера и заготовительно-сборочной оснастки.

В производстве самолетов малых размеров для пространственной увязки элементов бортовых систем используют отдельный экземпляр самолета, который называется *технологическим*. В производстве тяжелых самолетов выделяют отдельные *технологические агрегаты*, наиболее насыщенные элементами систем: кабина, приборный отсек и др.

На технологическом самолете или агрегатах окончательно отрабатывают расположение элементов систем, а затем на основе этого создают вторичные эталоны – эталонные элементы систем, которые затем используют как жесткие носители формы и размеров коммуникаций. По вторичным эталонам изготавливают или уточняют уже сделанную технологическую и контрольную оснастку.

Отработка систем на технологических самолетах и агрегатах имеет существенный недостаток. Он заключается в том, что этап окончательной

увязки осуществляется в момент изготовления самолета и возникают трудности с изменением конструкции элементов планера; увязку систем нельзя вести широким фронтом из-за ограниченности объемов и отсутствия хорошего доступа.

Чтобы устранить эти недостатки был разработан метод *объемной увязки* (МОУ) элементов планера и бортовых систем [26, 27].

Сущность этого метода заключается в том, что для увязки используются *базовый эталон* агрегата, выполненный по *внутреннему контуру обшивки*, и *контрэталон*, который изготовлен не по отдельным сечениям, как в ЭШМ, а сплошным.

Контрэталон представляет собой гладкий кессон, скопированный как *слепок* с базового эталона. Он получил название "*объемного плаза*", так как на его поверхности проводят, как и на плоском плазе, увязку конструкции частично расчерчиванием, а в большей части – расположением натуральных элементов конструкции.

Кроме базового эталона и объемного плаза, в данном методе предусматриваются изготовление и включение в схему увязки *образцовых деталей* обшивок и каркаса, *макетов* оборудования и коммуникаций.

Базовый эталон агрегата состоит из металлического каркаса и облицовки рабочей поверхности из эпоксипласта (композиции из эпоксидной смолы и наполнителя). На чисто обработанной поверхности базового эталона расчерчивают координатные оси, оси стрингеров, шпангоутов, стыки обшивок, контуры люков и другие плазовые разбивки (рис. 5.16, а). В поверхность базового эталона заделывают втулки по осям сборочных и базовых отверстий. Рабочий контур получают заливкой, каркас эталона снаружи закрывают так называемой технологической обшивкой, опирающейся на элементы каркаса 1, установленные на поддоне 2 по осям шпангоутов и обработанные по контуру ШК. Зазор между технологической обшивкой и поддоном заливают эпоксипластом 3, после застывания которого технологическую обшивку снимают и поверхность базового эталона (см. рис. 5.16, а) обрабатывают до получения необходимой чистоты, достаточной для расчерчивания плазовых разбивок. Базовый эталон служит для отработки образцовых обшивок агрегата и изготовления объемного плаза.

Образцовые или *эталонные* обшивки и детали представляют собой точные копии увязанных обшивок и деталей с просверленными сборочными, базовыми или направляющими отверстиями.

Объемный плаз состоит также из каркаса 4 (рис. 5.16, б) и облицовки из эпоксипласта, рабочий контур которой получают непосредственным копированием с поверхности базового эталона путем слепка. Каркас объемного плаза собирают *вокруг* подвешенного на оси *базового эталона*. Зазор между поддоном 5 и рабочей поверхностью базового эталона заливают эпоксипластом. Для крупных агрегатов объемный плаз делают составным.

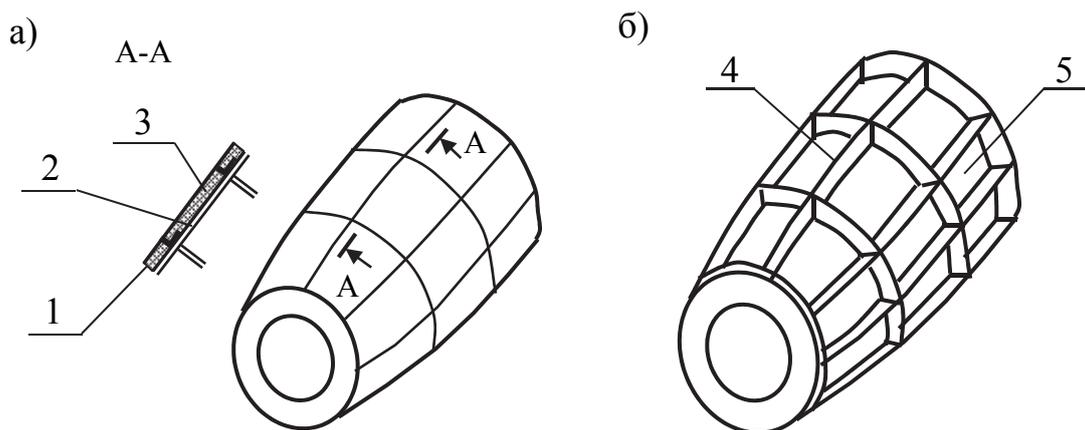


Рис. 5.16. Базовый эталон (а) и объемный плаз (б):

- 1 – элемент каркаса; 2 – поддон базового эталона;
 3 – облицовка из эпоксипласта; 4 – каркас базового эталона;
 5 – поддон объемного плаза

Схема объемного плаза представлена на рис. 5.17.

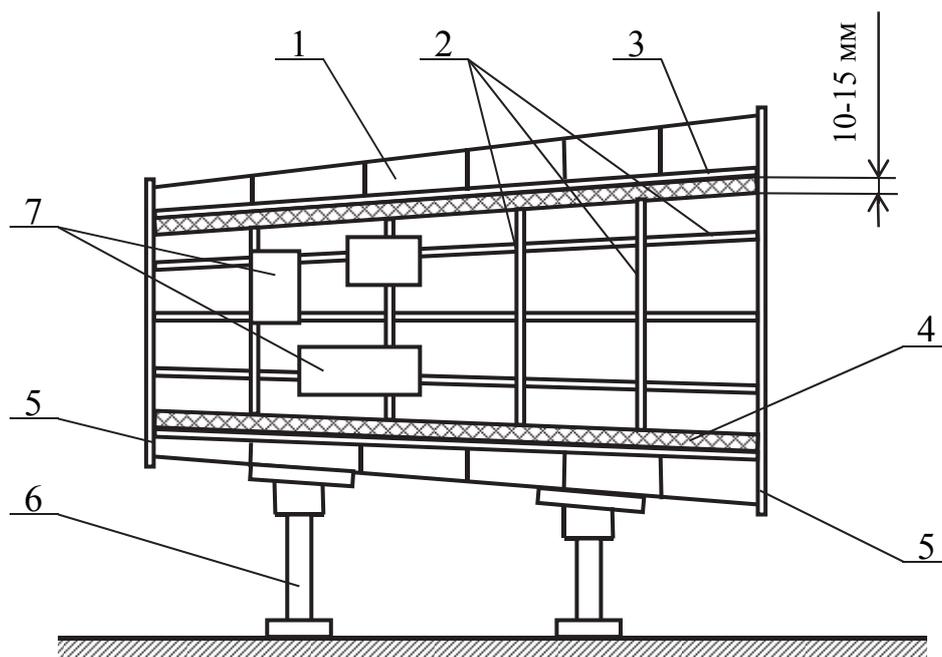


Рис. 5.17. Схема объемного плаза:

- 1 – каркас плаза; 2 – детали продольного и поперечного набора
 каркаса планера; 3 – поддон; 4 – слой эпоксипласта;
 5 – торцевые заглушки; 6 – опора; 7 – макеты блоков

При проектировании базового эталона и объемного плаза следует учитывать следующие требования:

- каркасы должны быть жесткими, исключая прогиб от собственной массы и монтажных нагрузок;
- допускаемые отклонения от рабочего контура по основным сечениям базового эталона и объемного плаза от контура шаблона должны быть в пределах $\pm 0,15$ мм;
- членение объемного плаза нужно выполнять по возможности согласно технологическому членению агрегатов на панели;
- следует обеспечивать свободный доступ и удобные подходы для работы в объемном плазе.

Увязку элементов конструкции планера и элементов бортовых систем при использовании МОУ проводят в два этапа.

На первом этапе производятся увязка и отработка размеров деталей обшивки и каркаса на оснастке, изготовленной на основе базового эталона с помощью слепков. Изготавливают и увязывают на объемном плазе образцовые детали каркаса, на базовом эталоне – образцовые детали обшивки. В дальнейшем образцовые детали обшивки и каркаса, пригнанные по контурам и стыкам, со всеми необходимыми отверстиями используют как своего рода пространственные шаблоны при корректировке и изготовлении новой оснастки. Всю сборочную оснастку и увязку стыковых элементов агрегата отрабатывают также на основе базового эталона.

На втором этапе производят увязку и отработку монтажей на объемном плазе и эталонируют элементы бортовых систем. По эталонам элементов систем и трасс коммуникаций изготавливают оснастку для их сборки и монтажа.

Эталонный монтаж на объемном плазе выполняется при проведении следующих работ:

- проверке в реальных условиях конструктивной компоновки агрегатов и систем;
- определении наиболее эффективных вариантов взаимного расположения агрегатов и систем;
- проверке на функционирование систем;
- создании эталонной укладки трубопроводов и жгутов, их крепежа;
- создании эталонов труб, жгутов и других элементов коммуникаций;
- корректировке конструкторской документации по результатам отработки монтажей;
- определении места сборочных отверстий для крепления уголков и отстыковки оснастки, определяющей положение агрегатов, штуцеров и выводов трубопроводов.

На объемном плазе можно отрабатывать и испытывать работу гидросистем, системы наддува, системы кондиционирования, кислородные системы, электросистемы и др.

Кроме рассмотренного метода объемной увязки находит применение вариант, который в период освоения серийного производства нового изделия предусматривает использование для увязки размеров деталей планера и оснастки комбинированного базового эталона (базового макета), сочетающего в себе функции эталона поверхности и монтажного эталона, а для процессов увязки элементов бортовых систем и коммуникаций – объемного макета.

Объемный макет – это макетно-технологический образец отсека, агрегата или изделия, собранный из взаимоувязанных деталей, оборудования, комплектующих изделий или их макетов и эталонированных элементов бортовых систем.

Собранный объемный макет становится источником информации о размерах и форме элементов коммуникаций, положении деталей и узлов систем в целом.

Сборка узлов и агрегатов *объемного макета* и *первых изделий* осуществляется в *одних и тех же* стапелях. С первых изделий обеспечивается высокая степень взаимозаменяемости деталей планера. В период серийного производства объемный макет служит прототипом для всех дальнейших модификаций изделия.

По результатам объемной увязки оборудования и бортовых систем выпускается полный комплект конструкторской документации, уточняются плазовые источники, механозаготовительная и сборочная оснастка, технологическая документация.

Для внедрения данного метода требуется, чтобы сборка объемного макета и отработка в нем бортовых систем и оборудования проводились раньше по времени, чем сборка изделий головной серии. Необходимо также, чтобы до поступления первых изделий на общую сборку были изготовлены комплекты серийных трубопроводов, электрожгутов и другие элементы систем.

Метод объемной увязки не накладывает ограничений на способы задания информации и увязку теоретических контуров изделия. Эта информация может быть представлена в виде теоретических чертежей, таблиц или математической модели поверхности.

Последовательность выполнения работ при использовании данного метода объемной увязки проводят в три этапа:

- 1) плазовая увязка деталей;
- 2) объемная увязка деталей планера и элементов бортовых систем;
- 3) сборка изделий головной серии.

Схема увязки размеров на основе базового эталона и объемного плаза представлена на рис. 5.18.

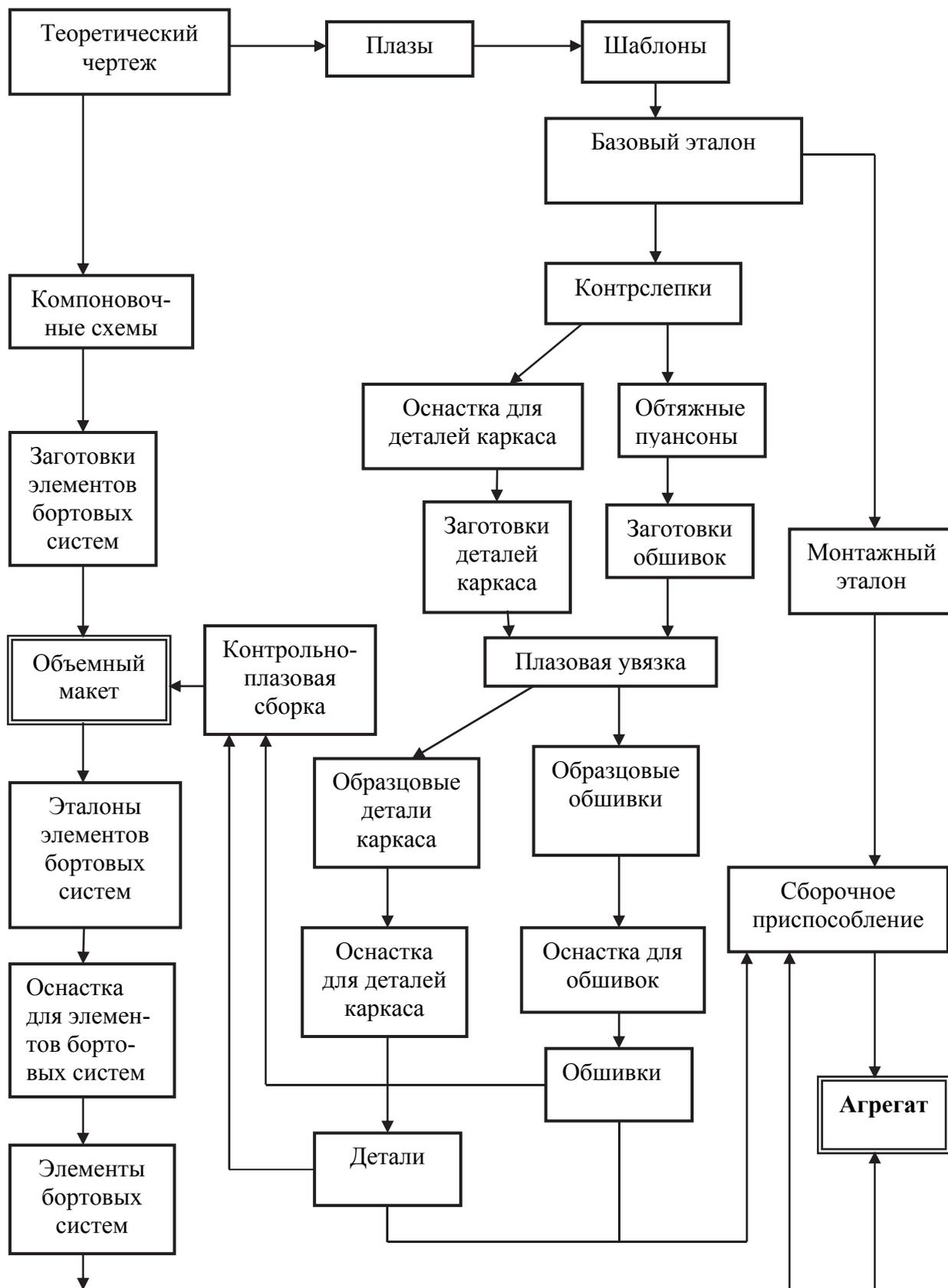


Рис. 5.18. Схема объемной увязки деталей планера и элементов бортовых систем на основе объемного макета

На *первом этапе* производится проработка конструкции на технологичность, плазово-шаблонная увязка и выпуск серийных чертежей, изготовление шаблонов, эталонов и оснастки, изготовление образцовых деталей, изготовление шаблонов обрезки контура.

На *втором этапе* производят контрольно-плазовую сборку узлов и панелей для объемного макета, сборку отсеков агрегатов объемного макета, сборку объемного макета и конструктивно-технологическую отработку бортовых систем.

На *третьем этапе* производятся изготовление серийных деталей, контрольная сборка узлов и панелей, сборка узлов, панелей, секций, сборка агрегатов, общая сборка планера и монтаж бортовых систем.

Эталонный монтаж на объемном макете выполняется при проведении следующих работ:

- проверке конструктивной компоновки агрегатов и систем;
- определении наиболее эффективных вариантов взаимного расположения агрегатов и систем;
- проверке на функционирование систем;
- создании эталонной укладки трубопроводов и жгутов и их крепежа и др.

Увязка оснастки для изготовления деталей планера осуществляется на основе ЭШМ с применением базового эталона (или эталона поверхности) и образцовых (эталонных) деталей.

Образцовая деталь – это деталь с номинальными обрезами со всеми направляющими (НО) и сборочными отверстиями (СО) и нанесенной информацией: теоретическими и конструктивными осями, необходимыми надписями. С помощью образцовых деталей осуществляется увязка сборочных отверстий в обшивках и деталях каркаса.

Заготовки для образцовых деталей каркаса изготавливают в технологической оснастке заготовительных цехов. Для проверки прилегания заготовок по всей поверхности к оснастке в местах подсечек и переходов в них сверлят отверстия диаметром 6-8 мм, позволяющие определить и устранить зазор между оснасткой и деталью.

В плазово-шаблонном цехе заготовки обрабатывают по торцам, бортам, вырезам согласно чертежу и шаблонам, размечают и сверлят СО, НО и другие отверстия согласно паспорту, наносят оси конструктивных элементов.

Образцовая обшивка служит для обработки номинальных обрезков, окон, вырезов и увязки образцовых деталей каркаса планера, входящих в данный узел. Образцовые обшивки имеют следующую информацию: строительные оси; оси продольных и поперечных конструктивных элементов (шпангоутов, стрингеров); базовые отверстия.

Изготовление образцовой обшивки осуществляют по следующей технологической схеме:

- изготавливают заготовку формованием по обтяжным пуансонам;
- устанавливают заготовку на базовый эталон с обеспечением плотного прилегания (с зазором не более 0,5 мм);
- сверлят базовые отверстия в заготовке (перевод отверстий с базового эталона осуществляют с помощью специальных кернеров или других устройств) и производят фиксацию обшивок на эталоне;
- размечают теоретические и контурные оси, контуры обреза и контуры элементов каркаса, выходящие за обвод. Для удобства разметки и перенесения информации с базового эталона на обшивке прорезают технологические окна, а затем точно обрабатывают по местам пересечения переносимых осей. Обшивки обрезают без припуска по люкам и по всему периметру;
- увязывают на базовом эталоне обрезы по стыкам со смежными образцовыми обшивками;
- производят контроль заготовки образцовой обшивки (допускаемые отклонения обреза образцовой обшивки от разметки на базовом эталоне $\pm 0,15$ мм).

Для увязки деталей каркаса планера и получения на них сборочных отверстий производится сборка панелей из образцовых деталей в пространственных корзинках.

Пространственные корзинки изготавливаются в плазово-шаблонном цехе из набора поперечных и продольных контршаблонов контуров сечений (КШКС), выполненных по наружному контуру обшивок агрегата.

Проверка корзинок производится по базовому эталону с установкой прокладок, соответствующих толщине обшивки агрегата. На выставленную по базовому эталону корзинку монтируются кронштейны с втулками под БО.

Сборку образцовой панели осуществляют в следующем порядке:

- устанавливают образцовую обшивку в пространственную корзинку с фиксацией по базовым отверстиям;
- устанавливают с базой по осям на образцовой обшивке образцовые детали продольного и поперечного набора, окантовки и крепят к обшивке с помощью струбцин через окна или грузами;
- сверлят сборочные отверстия в образцовой обшивке по сборочным отверстиям образцовых деталей и крепят детали к обшивке технологическими винтами;
- осуществляют контроль размеров и расположения всех деталей на собранной образцовой панели по чертежам (зазоров по торцам деталей и в сопряжениях поверхностей обшивки и каркаса, перемычек по НО и др.).

По увязанным между собой в процессе сборки панелям, образцовым деталям каркаса и обшивки изготавливают *шаблоны обрезки контура*.

Одновременно с изготовлением и увязкой деталей планера осуществляют изготовление и монтаж сборочной оснастки технологического комплекта (нулевой очереди), перечень и очередность изготовления которой устанавливаются графиком на оснащение. Увязку сборочной оснастки осуществляют с применением монтажного или базового эталона.

Сборочная оснастка нулевой очереди по схемам базирования полностью соответствует серийной оснастке. Для сборки панелей, детали которых увязаны при сборке образцовой панели, применяют приспособления упрощенной конструкции, выполняющие роль поддерживающих устройств. Монтаж упрощенных приспособлений ведется по образцовым обшивкам, подкрепленным набором продольных и поперечных шаблонов.

Стапели для сборки отсеков имеют минимальное число рубильников и фиксаторов. Это обеспечивается поставкой на сборку стабильных по геометрическим параметрам и достаточно жестких панелей – обшивок, собранных по сборочным отверстиям с продольно-поперечным набором.

В целях обеспечения с первых изделий высокой степени взаимозаменяемости деталей планера производится агрегатная сборка объемного макета, состоящая из контрольно-плазовой сборки узлов и панелей, а также контрольной сборки панелей, секций и агрегатов в сборочной оснастке нулевой очереди. В этот период осуществляется многоэтапная оценка качества увязки деталей планера, выявляются и устраняются несогласования их размеров, уточняется технологический процесс сборки.

Для опережения сборки объемного макета против первого изделия головной серии проводится комплекс следующих организационно-технических мероприятий:

- изготовление деталей для объемной увязки из легкообрабатываемых и хорошо освоенных материалов взамен труднообрабатываемых и дефицитных, предусмотренных чертежами изделия;
- использование макетных или некондиционных по физико-механическим свойствам деталей при условии соответствия их размеров серийным чертежам;
- сокращение объема сборочных работ за счет уменьшения числа крепежных точек, изъятия операций, связанных с герметизацией, покраской, технологическими выдержками и испытаниями и др.;
- сокращение объема контрольно-сдаточных операций, связанных с выполнением соединений, герметизацией и пр.;
- применение вместо сборочных приспособлений пространственных корзинок из шаблонов для увязки сборочных отверстий и сборки панелей первых серийных изделий;

- максимальное расчленение работ в соответствии со специализацией цехов и участков по агрегатам, отсекам и зонам изделия.

Применение данного метода объемной увязки позволяет:

- повысить степень взаимозаменяемости деталей и довести объем установки деталей и узлов без подгонки до 90 % от общего объема;
- довести объем монтажа бортовых систем и оборудования без применения сверлильно-клепальных, подгоночных работ, пайки на потоке до 99 %;
- повысить уровень применения в конструкции унифицированных деталей и нормалей до 60 %;
- упростить конструкцию сборочной оснастки;
- сократить число приспособлений для установки крепежа и разъемов коммуникаций до 40 %;
- сократить объем доработок технологической оснастки в 5 раз.

5.6. Расчётно-плазовый метод увязки

Несмотря на широкое использование современных средств вычислительной техники, совершенствование методологии плоского и объемного математического и геометрического моделирования, оснащения производства высокоточным обрабатывающим оборудованием с ЧПУ отрасль еще не готова перейти к комплексной автоматизации процессов технической подготовки производства, поэтому на практике находит применение переходный метод геометрической увязки и формообразования – расчётно-плазовый метод (РПМ) [26].

Основными принципами РПМ являются:

- более полное образмеривание конструктивных чертежей, исключая возможности неоднозначного их прочтения исполнителями;
- создание единых носителей геометрической информации коллективного пользования;
- применение в производстве согласованной схемы параллельно-последовательного формообразования всех элементов обводообразующей оснастки и деталей для каждого агрегата в отдельности.

Максимальное использование ЭВМ, чертежных автоматов, станков с ЧПУ для изготовления основной номенклатуры плазово-шаблонной оснастки.

Единым носителем геометрической информации являются:

- математическая модель агрегата;
- информационная модель пространственного или плоского конструктивного узла, представленная в виде плаза.

Применение РПМ предусматривает группирование деталей агрегата по способам и средствам образования, согласования и переноса форм и размеров – расчетного (группа А) и плазового (группа Б) и организацию

Особенно эффективен РПМ для производств, связанных с большим количеством сложной обводообразующей оснастки.

Сочетание РПМ с современными оптическими и лазерными системами позволяет значительно сократить затраты на изготовление и увязку эталонной и сборочной оснастки.

Схема увязки форм и размеров технологической оснастки и деталей представлена на рис. 5.20.

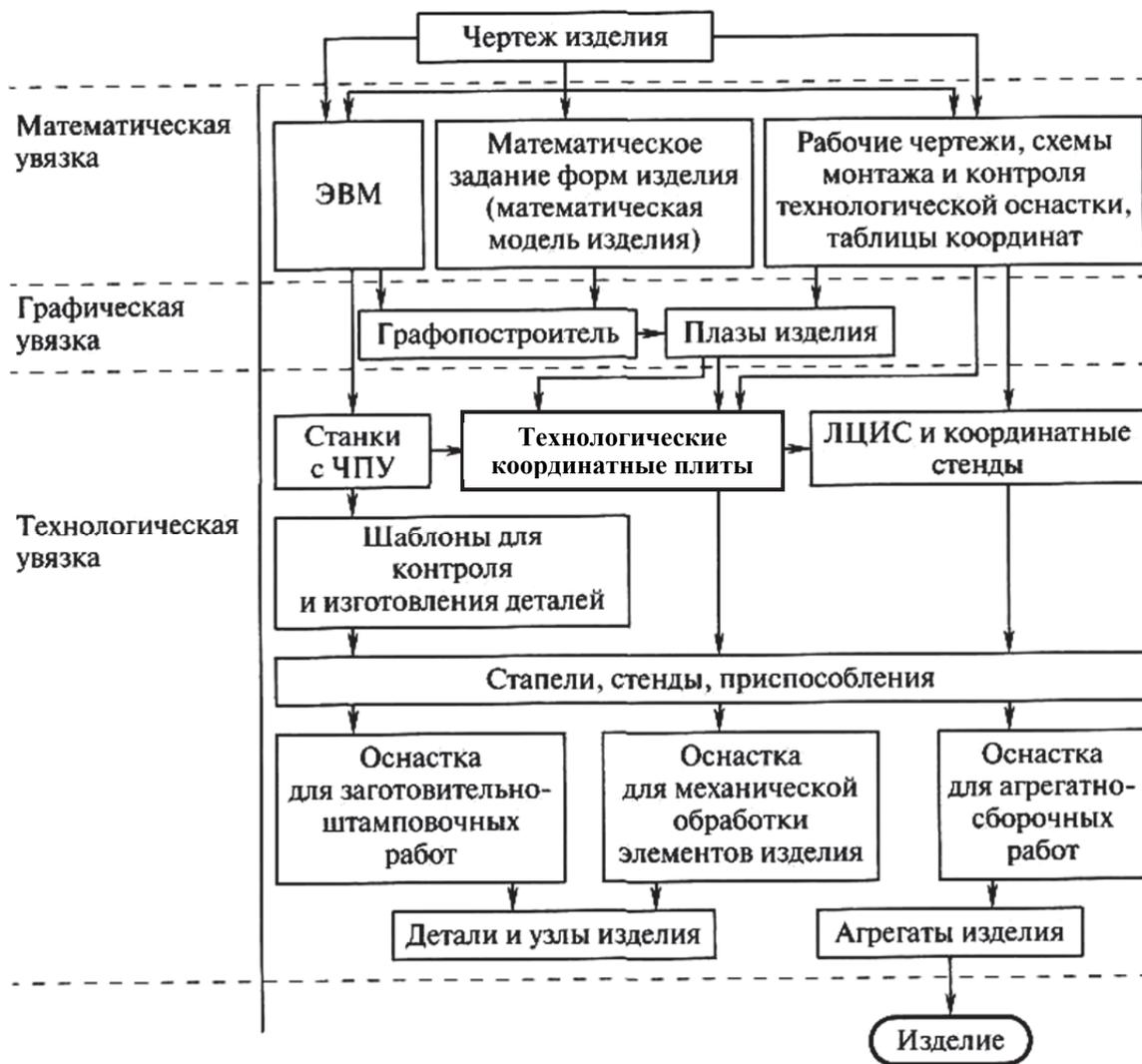


Рис. 5.20. Схема увязки форм и размеров при РПМ

РПМ обеспечения взаимозаменяемости относится к переходным. Он был создан тогда, когда еще уровень оснащения самолетостроительных предприятий технологическим оборудованием был невысок. Технический уровень самого оборудования также был недостаточно высоким. Программное обеспечение и технические параметры вычислительной техники позволяли решать только локальные задачи. В настоящее время с развити-

ем вычислительной техники и совершенствованием программного обеспечения, появлением технологического оборудования с ЧПУ, позволяющего выполнять изделия с высокой точностью в производстве, начинают применять методы без использования физических плазов в качестве первоисточников информации и специальных средств увязки в виде шаблонов, эталонов и др.

5.7. Методы бесплазовой увязки

Методы бесплазовой увязки в настоящее время широко используются в самолетостроительном производстве, так как современные автоматизированные системы проектирования и станки с ЧПУ позволяют изготавливать и увязывать с достаточно высокой точностью заготовительно-штамповочную и сборочную оснастку, а также элементы конструкции самолета.

Бесплазовая увязка – процесс согласования размеров, форм, заданного положения элементов конструкции, а также средств технологического оснащения на стадии проектирования, подготовки производства и изготовления *без применения плазов* (физических носителей форм и размеров).

К бесплазовым методам, построенным по способу *связанного* образования размеров и формы сопрягаемых элементов конструкции, относятся: **программно-шаблонный метод** увязки (ПРШМ) и **программно-макетный метод** увязки (ПРММ). Наиболее прогрессивным из бесплазовых методов является **программно-инструментальный метод** (ПРИМ), основанный на несвязанном способе образования форм и размеров [1, 24].

Увязку наружных контуров агрегатов в бесплазовых методах производят на основе математической модели поверхности, которую затем преобразуют в трехмерную электронную геометрическую модель с помощью графической системы высокого уровня, например *Unigraphics*.

Математическая модель поверхности (ММП) – закодированная определенным образом совокупность алгоритмов и числовых данных для ЭВМ, необходимых и достаточных для однозначного определения любых координат любой точки поверхности.

Электронная геометрическая модель (ЭГМ) – математическая модель, описывающая форму, размеры и иные свойства изделия, зависящие от его формы и размеров.

ЭГМ могут быть представлены как в виде жесткой неизменяемой модели, так и в параметризованном виде.

ЭГМ является составной частью электронной модели изделия, описывающей форму, размеры и положение изделия в пространстве, и иные свойства, связанные с этими характеристиками.

Электронная модель изделия (ЭМИ) – набор данных, которые вместе определяют свойства, необходимые для изготовления, приемки, сборки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия.

ЭМИ является структурированной совокупностью согласованных и взаимоувязанных электронных геометрических моделей компонентов изделия (деталей, сборочных единиц) и атрибутов, необходимых для их изготовления, сборки и контроля.

Основой ЭМИ являются электронные модели (макеты) отдельных элементов конструкции самолета и сборочных единиц.

Электронный макет (ЭМ) – электронная модель изделия, описывающая его внешнюю форму и размеры, позволяющая полностью или частично оценить его взаимодействие с элементами производственного и(или) эксплуатационного окружения, служащая для принятия решений при разработке изделия и процессов его изготовления и использования. ЭМ является носителем геометрических параметров.

Электронная модель детали (ЭМД) – документ, содержащий электронную модель детали и требования к ее изготовлению и контролю (включая предельные отклонения размеров, шероховатостей поверхностей и др.).

Электронная модель сборочной единицы (ЭМСЕ) – документ, содержащий геометрическую модель сборочной единицы, соответствующие электронные геометрические модели составных частей, свойства, характеристики и другие данные, необходимые для сборки (изготовления) и контроля.

На основании электронной модели детали создаются управляющие программы (УП) для станков с ЧПУ, по которым изготавливаются детали планера. Для изготовления технологической оснастки также разрабатываются электронные модели, по которым создают УП для элементов оснастки.

Контроль изготовления элементов конструкции, элементов заготовительной и сборочной оснастки производится с помощью КИМ.

Для изготовления технологической оснастки (заготовительно-штамповочной, литейной и др.) выполняют *технологические электронные макеты (ТЭМ)* – трехмерные электронные модели, которые отражают условия поставки заготовок, деталей на сборку и др.

Главное назначение ТЭМ, который ассоциативно должен быть связан с ЭМД и ЭМСИ, – это проектирование специальной оснастки, подготовки УП для станков с ЧПУ для выполнения рабочих элементов формообразующей и сборочной оснастки.

В зависимости от назначения выделяют ТЭМ отливки, поковки, штамповки и др.

В самолетостроении с большой эффективностью используют принцип мастер-модели.

В основе принципа *мастер-модели* лежит использование трехмерной электронной модели детали, прошедшей увязку в окружении сборки, как единого носителя геометрии и топологии конструкции для одновременных разработок технологической оснастки.

Электронная модель дает возможность *параллельного* выполнения работ всеми участниками подготовки производства самолета, причем эти участники могут быть разделены тысячами километров.

Применение мастер-модели позволяет существенно уменьшить цикл подготовки производства.

С помощью электронных моделей выполняют не только электронные сборки, но и трассировку в электронном виде трубопроводов и электрических жгутов.

Для увязки элементов бортовых систем используется электронная компоновка (ЭК).

Электронная компоновка – совокупность взаимоувязанных электронных макетов каркаса, оборудования и трасс коммуникаций бортовых систем самолета. ЭК обеспечивает решение позиционных, топологических и других задач, возникающих в процессе предварительной работы, на стадии рабочего проектирования над вновь создаваемым или модернизируемым изделием.

Программно-шаблонный метод увязки (ПРШМ)

При ПРШМ увязки с помощью *электронного шаблона* (электронной модели шаблона) на станках с ЧПУ изготавливают производственные шаблоны, которые затем используют для переноса размеров на заготовительно-штамповочную оснастку и на сборочные приспособления. ПРШМ применяют тогда, когда прямое изготовление деталей самолета и элементов оснастки на оборудовании с ЧПУ невозможно или неэкономично.

Программно-макетный метод увязки (ПРММ)

ПРММ является перспективным методом, при этом методе в качестве увязки используют макеты (пространственные носители форм и размеров), изготовленные на станках с ЧПУ по программе, составленной на основе ЭМ.

Для переноса увязанных размеров с макетов на контрольную и технологическую оснастку используют способ *контактного копирования* (способ слепков и контрслепков), обеспечивающий высокую точность воспроизведения геометрических параметров технологической оснастки и сопрягающих элементов планера самолета.

Использование в качестве метода увязки ПРММ зависит от количества специального крупногабаритного оборудования со СЧПУ для изготовления макетов.

С созданием и расширением выпуска такого оборудования область применения ПРММ будет увеличиваться.

Программно-инструментальный метод увязки (ПРИМ)

ПРИМ обладает существенным преимуществом перед другими методами увязки, так как базируется на широком использовании оборудования с ЧПУ для непосредственного воспроизведения по заданной программе геометрических параметров изделий без применения каких-либо специальных промежуточных средств увязки (*шаблонов, эталонов*).

ПРИМ используют для увязки форм и размеров заготовительно-штамповочной оснастки (формблоков, оправок, обтяжных пуансонов, доводочных приспособлений) и базовых элементов сборочных приспособлений (ложементов, рубильников). Его применяют также для непосредственного изготовления на станках с ЧПУ сопрягаемых элементов конструкций сборочных единиц.

Для контроля размеров и форм изготовленных изделий при этом методе увязки используют трехкоординатные КИМ. Координатно-измерительная машина работает под управлением ЭВМ, то есть по электронной модели создается программа контроля деталей, которая используется в КИМ. С помощью КИМ производится замер координат отдельных точек контура поверхности и выполняется сравнение результатов замера с геометрическими параметрами ЭМ измеряемого изделия.

После проведения обмеров автоматически печатается соответствующая карта измерений. Например, в стандартном протоколе измерений указываются фактические, номинальные значения контролируемых параметров и получившееся отклонение. Также на модели контролируемой поверхности показываются контролируемые точки разными цветами.

Один из возможных вариантов увязки при использовании ПРИМ показан на рис. 5.21.

Точность увязки при использовании *бесплазовых методов* в среднем на 30-50 % выше той, которая обеспечивается традиционными плазовыми методами.

Происходит это в основном за счет уменьшения количества контрольно-эталонной оснастки и уменьшения величин погрешностей при увязке размеров с помощью электронных моделей.

Применение бесплазовых методов увязки позволяет уменьшить цикл технологической подготовки производства в два – три раза.

В настоящее время на предприятиях авиационной промышленности используют новые организационно-технические формы подготовки производства на основе бесплазовых методов увязки.

Один из таких вариантов представлен на рис. 5.22.

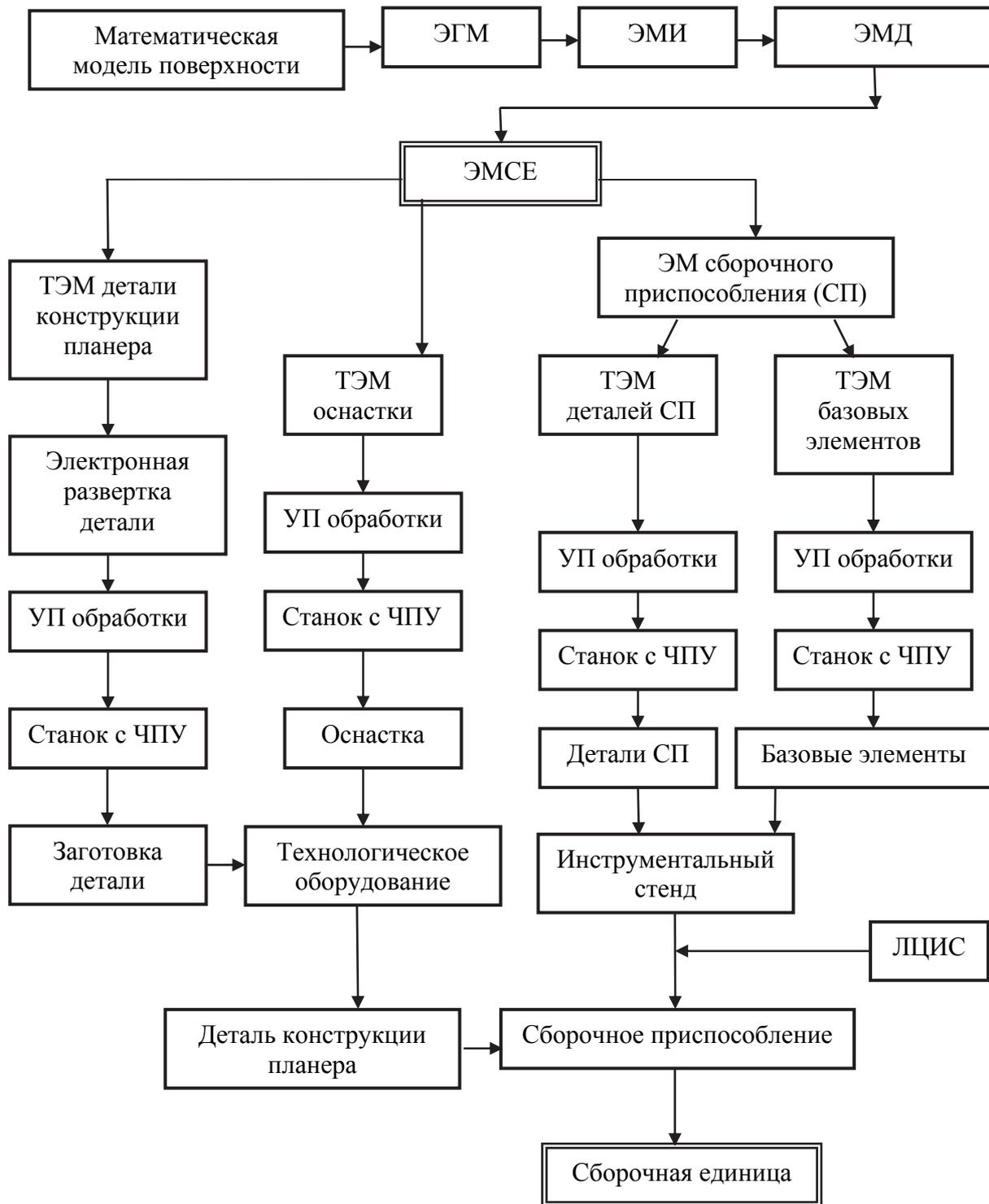


Рис. 5.21. Схема увязки при использовании ПРИМ

В соответствии с приведенной на рис. 5.22 схемой применение бесплазового метода увязки можно разбить на *шесть* этапов [27]:

1-й этап. С использованием графической системы *Unigraphics* выполняется построение геометрических моделей, производятся расчеты эквидистантных сечений и поверхностей для основных обводообразующих деталей каркаса и обшивок, рассчитывается пространственная координатная схема *базовых отверстий* (БО) и разрабатываются рабочие чертежи деталей каркаса и оснастки с привязкой положения обводной части относительно соответствующей группы БО.

2-й этап. В системе *Unigraphics* разрабатываются управляющие программы обработки контуров на станках с ЧПУ для базовых внутренних обводообразующих элементов (ВОЭ), к которым относятся ложементы сборочной оснастки для базирования по внутреннему контуру обшивок, эталоны и макеты силовых деталей каркаса планера; управляющие программы обработки контуров базовых наружных обводообразующих элементов оснастки (НОЭ), к которым относятся рубильники и другие элементы оснастки для базирования по наружному контуру.

3-й этап. Выполняется обработка базовых ВОЭ и НОЭ на координатно-расточных и фрезерных станках с ЧПУ по управляющим программам с *базированием* на соответствующие БО. Производится монтаж жесткого *носителя координатной системы* БО с помощью координатно-монтажного стенда МС-636Ф-2-11. Стенд МС-636Ф-2-11 представляет собой устройство портального типа с подвижным столом и подвижной поперечной линейкой, управляемыми от устройства с числовым программным управлением. Вертикальные координатные линейки расположены на стойках портала. Горизонтальная координатная линейка закреплена на подвижном столе.

4-й этап. Базовые элементы ВОЭ фиксируются на соответствующие БО *носителя координатной системы* и производится *объемная увязка* контуров как по плоскостям сечений в местах стыков, так и от сечения к сечению. При этом выявляются и устраняются несоответствия контуров ВОЭ, вызванные субъективными и техническими причинами.

5-й этап. На носитель координатной системы БО устанавливают НОЭ и согласовывают их расположение относительно базовых ВОЭ.

6-й этап. В результате 4-го и 5-го этапов носитель координатной системы БО вместе с ВОЭ и НОЭ превращается в *технологический стенд* для контроля элементов рабочей оснастки, отдельных деталей планера и сборочной оснастки.

По носителю координатной системы ведется монтаж сборочного приспособления агрегата, контуры ВОЭ и НОЭ, а также положение БО переносятся на рабочую оснастку. Возможна запись управляющих программ с базовых ВОЭ с помощью контрольно-измерительного комплекса для обработки деталей каркаса планера на станках с ЧПУ.

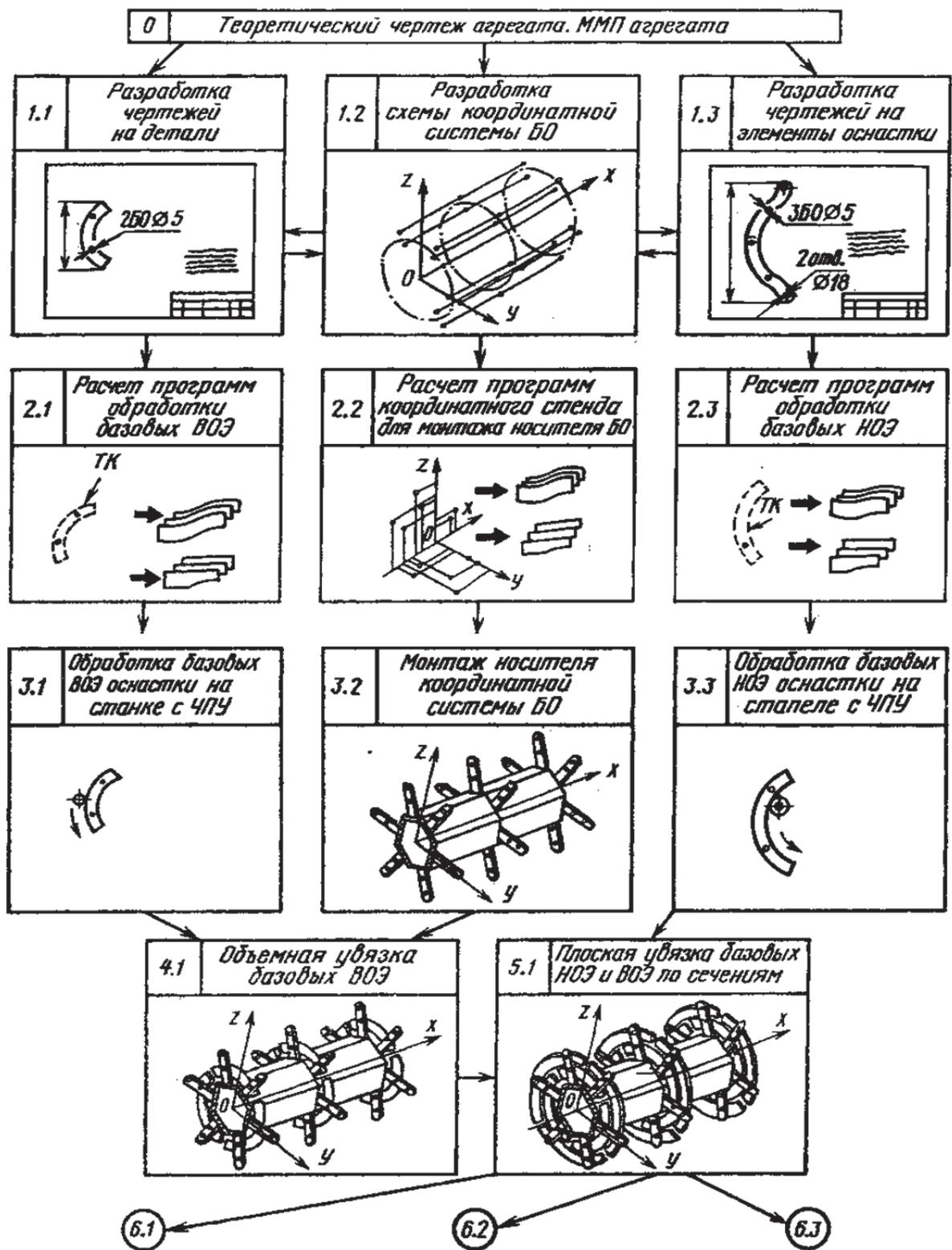


Рис. 5.22. Схема увязки геометрических параметров элементов оснастки бесплазовым методом (начало)

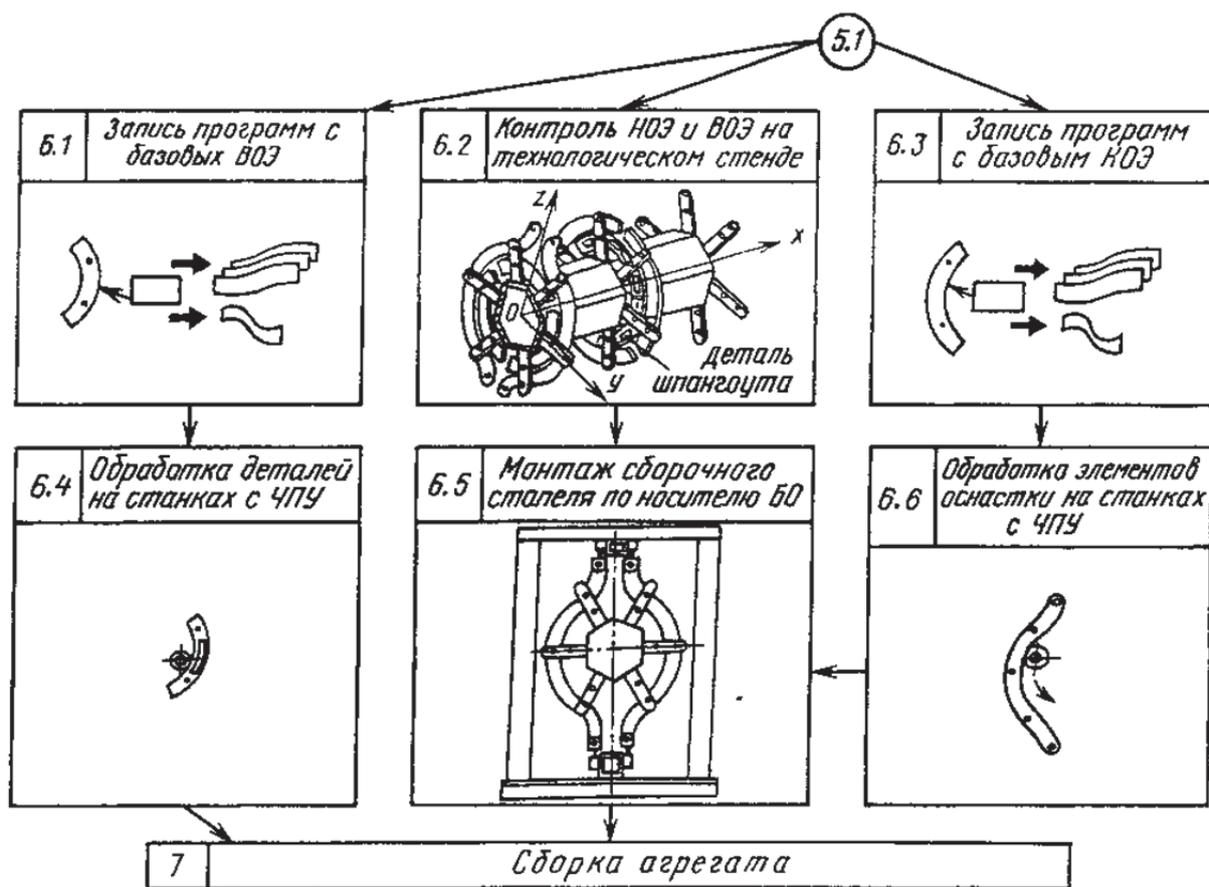


Рис. 5.22. Схема увязки геометрических параметров элементов оснастки бесплазовым методом (окончание)

Для агрегатов, имеющих более простую линейчатую поверхность, схема увязки упрощается (рис. 5.23). Как и при увязке с помощью технологического натурного стенда, единой базой для обработки деталей и элементов оснастки, а также их пространственной фиксации при этом методе является *система базовых отверстий*.

Для верхней поверхности крыла изготавливается *жесткий носитель базовых отверстий*, по которому выполняется *монтаж рубильников* сталея, зафиксированных по базовым отверстиям. После монтажа рубильников верхней поверхности носитель убирают, а с базой на отверстия уже установленных рубильников с помощью фиксаторов монтируют рубильники нижней поверхности крыла. Далее проводится монтаж фиксаторов внутреннего набора с базой на отверстия рубильников верхней и нижней поверхностей.

В настоящее время разработаны схемы, позволяющие выполнять работы по монтажу сборочных приспособлений без использования физических носителей базовых отверстий. При монтаже сборочных приспособлений применяются современные лазерные устройства.

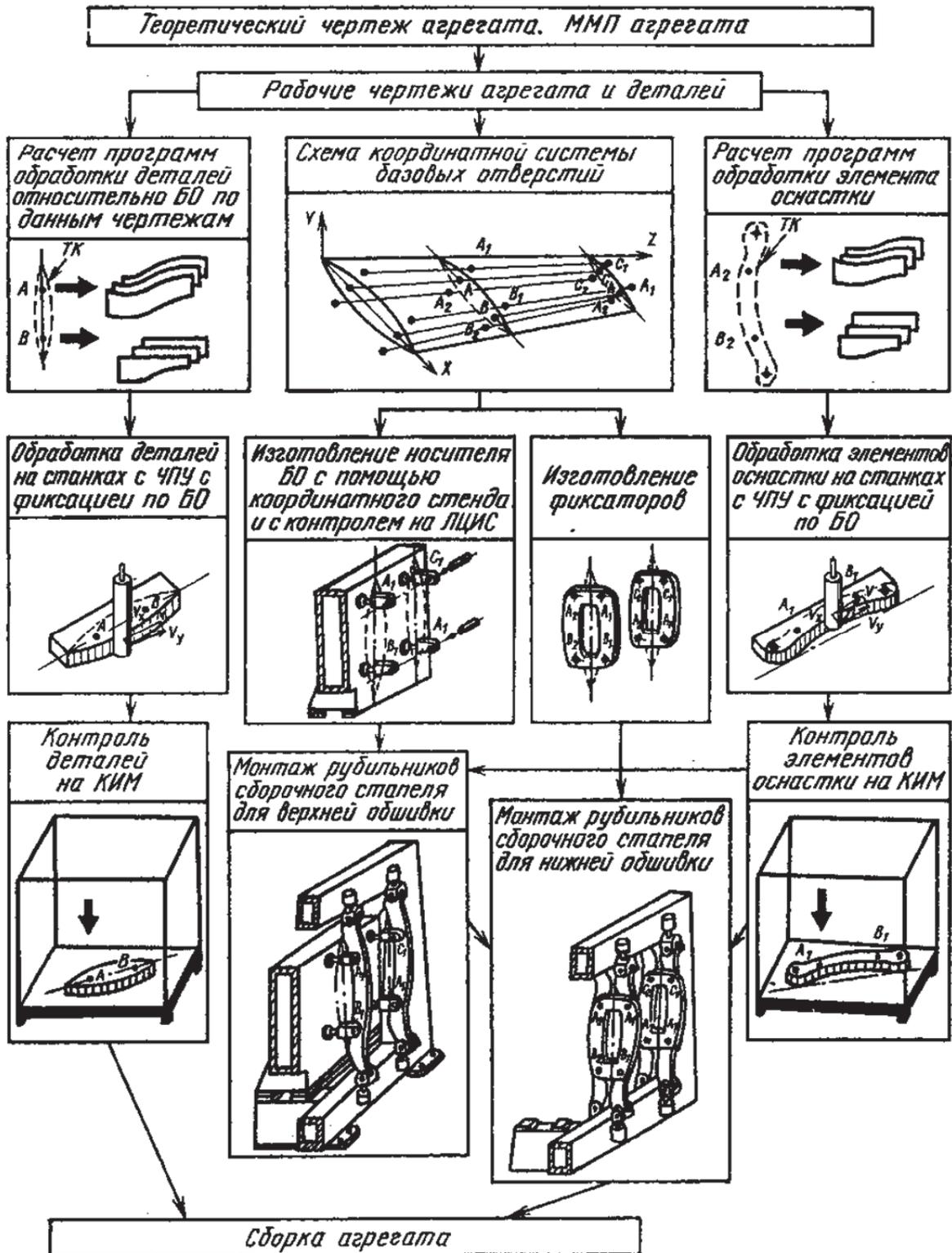


Рис. 5.23. Схема увязки геометрических параметров элементов оснастки агрегата с линейчатой поверхностью

5.8. Обеспечение взаимозаменяемости агрегатов по разъемам и стыкам

Основное требование к агрегатам планера самолета – обеспечение полной взаимозаменяемости по стыкам и разъемам. Однако сложные формы, большие габариты и малая жесткость деталей авиационных конструкций приводят к тому, что практически невозможно обеспечить необходимую точность геометрических параметров отверстий стыковых узлов при сборке агрегата. Это объясняется тем, что при выполнении соединений и после выемки из сборочного приспособления из-за деформирования конструкции агрегата происходит нарушение геометрических параметров стыковых узлов.

Поэтому на сборку стыковые узлы подаются с припусками по отверстиям (диаметр отверстий меньше требуемого размера обычно на 2 мм). Поверхности стыка также выполняются с припусками.

После сборки агрегата плоскость стыка и отверстия в стыковых узлах обрабатываются до требуемого размера (снимается припуск) с помощью специального устройства – *разделочного станда* [1, 22, 29].

Разделка стыковых узлов агрегата в разделочных стандах представляет собой процесс механической обработки отверстий и стыкуемых поверхностей.

Схема разделочного станда для разделки стыковых отверстий отъемной части крыла представлена на рис. 5.24.

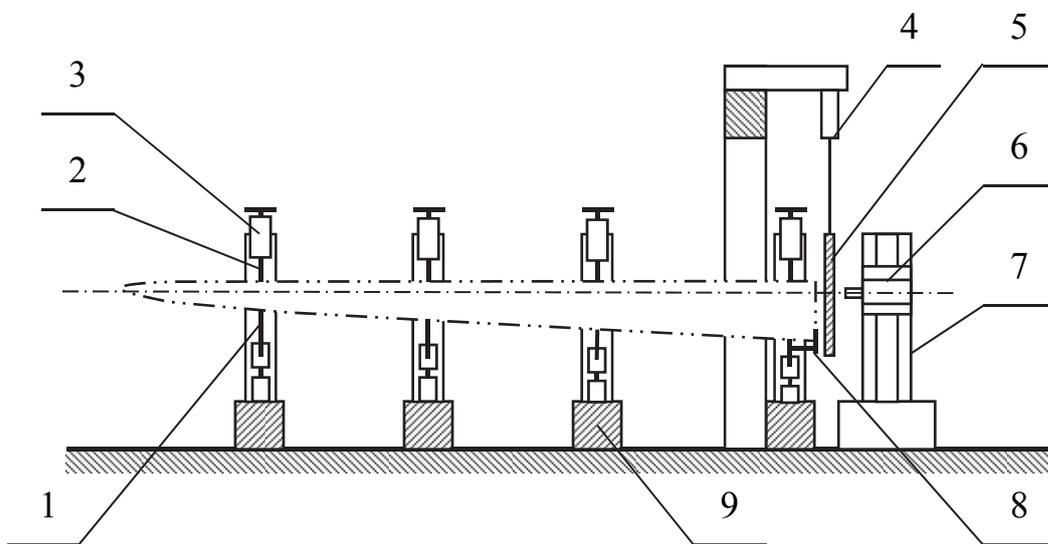


Рис. 5.24. Принципиальная схема разделочного станда для обработки стыка крыла: 1 – ложемент; 2 – рубильник; 3 – прижимной механизм; 4 – механизм подъема; 5 – ПРС; 6 – разделочный агрегат; 7 – стойка; 8 – упор; 9 – балка

Структура разделочного стенда:

1) *каркас стенда* – опоры, основания, балки, колонны и другие несущие элементы;

2) *базовые элементы* – ложементы, рубильники, упоры и другие элементы, предназначенные для установки агрегата в стенд;

3) *носители контура стыка* – кондукторные и направляющие плиты, кондукторы;

4) *прижимные устройства и механизмы* – предназначены для фиксации агрегата в стенде;

5) *подъемный механизм* – предназначен для установки в рабочее положение и уборки *плиты разделочного стенда* (ПРС);

6) *разделочные агрегаты* – сверлильные и фрезерные головки, предназначенные для обработки поверхностей и разделки отверстий.

В разделочном стенде выполняются следующие операции:

- фрезерование плоскости стыка (рис. 5.25, а);
- фрезерование пазов под стыковые болты (рис. 5.25, б);
- разделка отверстий (рис. 5.25, в);
- цековка гнезд под головки болтов и гаек (рис. 5.25, г).

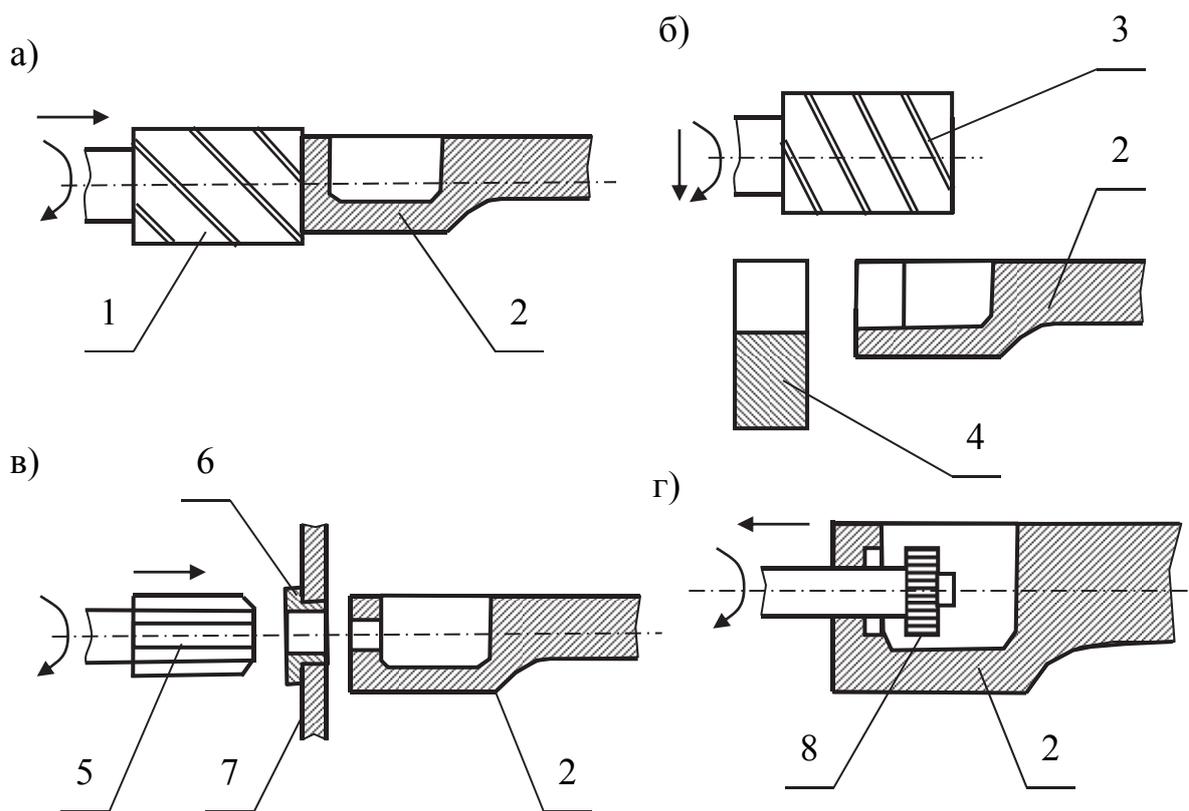


Рис. 5.25. Схемы операций разделки стыка агрегата:

1 – торцевая фреза; 2 – стыковой профиль; 3 – пальцевая фреза;

4 – направляющая плита; 5 – развертка; 6 – втулка; 7 – ПРС;

8 – цековочная фреза

Фрезерование стыка и разделку отверстий под стыковые болты отъемной части крыла проводят в следующем порядке:

1) устанавливают агрегат в стенд на ложементы 1, торец крыла должен доходить до упора 8 и фиксируют рубильниками 2 с помощью прижимных механизмов 3 (см. рис. 5.25);

2) отводят ПРС при помощи механизма подъема 4;

3) фрезеруют плоскость стыка с помощью фрезерной головки разделочного агрегата 6;

4) подводят ПРС и устанавливают ее в рабочем положении, фиксируя по БО в плите и рубильнике;

5) фрезеруют пазы под стыковые болты;

6) через кондукторные втулки в ПРС развертывают отверстия под стыковые болты с помощью сверлильной головки. Перед завершающим проходом развертки обычно выполняют цековку гнезд под головки стыковых болтов;

7) по окончании процесса обработки отводят ПРС и сверлильную головку в исходное положение;

8) снимают агрегат со стенда.

Разделочные стенды могут быть специальными и универсальными.

Специальный стенд предназначен для обработки одного конкретного типоразмера агрегата, универсальный стенд служит для обработки однотипных групп агрегатов.

Разделочные стенды используются не только при обработке фланцевых стыков, но также для обработки отверстий стыковых узлов вильчатых стыков.

Увязка элементов вильчатых стыков осуществляется при помощи специальных средств увязки *калибров* и *контркалибров*.

Увязка элементов фланцевого стыка осуществляется с помощью применения комплекта плит разъемов, в состав которых входят:

- *мастер-плиты* – специальные средства увязки, которые служат для изготовления плит, применяемых при образовании отверстий в элементах стыка и при сборке агрегата;

- *кондукторные плиты* – служат для образования отверстий в деталях и узлах, входящих в конструкцию стыка;

- *плиты стыка* – входят в состав конструкции сборочного приспособления и применяются для установки в сборочное положение элементов стыка при сборке агрегата;

- *плиты разделочных стендов* – используются для разделки отверстий в элементах стыка в окончательный размер на собранном агрегате.

На рис. 5.26 представлена схема увязки технологического оснащения для обеспечения взаимозаменяемости фланцевого стыка для стыкуемых агрегатов А и В.

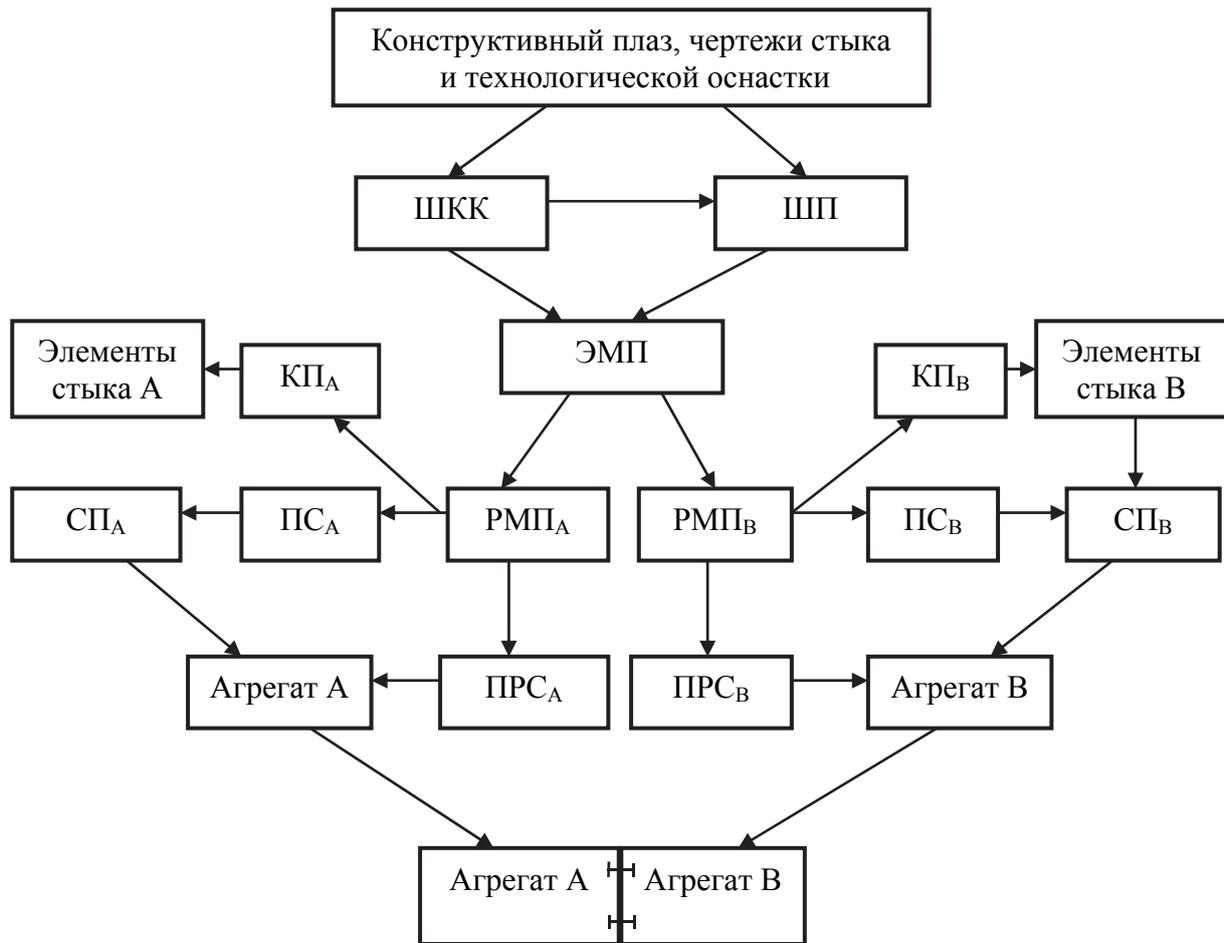


Рис. 5.26. Схема увязки размеров элементов фланцевого стыка для стыкуемых агрегатов А и В

Изготовление средств увязки начинается с конструктивного плаза, на котором нанесены сечения элементов конструкции и БО. С конструктивного плаза информация переносится на ШКК и ШП, на которых сверлятся отверстия, определяющие расположение БО и отверстий под стыковые болты. Далее изготавливается *эталонная мастер-плита* (ЭМП), а по ЭМП выполняются *рабочие мастер-плиты* (РМПА) и (РМПВ) для стыков агрегатов А и В.

РПМ служат для изготовления *кондукторных плит* (КПА) и (КПВ), *плит стыка* (ПСА) и (ПСВ), а также *плит разделочного стенда* (ПРСА) и (ПРСВ) для агрегатов А и В.

По кондукторным плитам сверлятся отверстия под стыковые болты в узлах и деталях стыка агрегатов А и В. С помощью плит стыка сборочных приспособлений детали и узлы, входящие в конструкцию агрегатов А и В, устанавливаются в требуемое сборочное положение. Плиты разделочного стенда используются при разделке отверстий фланцевого стыка на собранном агрегате.

Высокая точность переноса размеров с мастер-плит на рабочие плиты обеспечивается совмещением БО в плитах.

Кондукторные плиты, плиты стыка и плиты разделочного стыка могут изготавливаться с применением станков с ЧПУ без использования системы мастер-плит.

Таким образом, использование разделочных стендов позволяет обеспечивать полную взаимозаменяемость агрегатов планера самолета по стыкам и разъемам.

При обеспечении взаимозаменяемости стыков и разъемов в самолетостроении в настоящее время широко используется метод *совместной обработки* отверстий соединяемых агрегатов по кондукторам и кондукторным плитам.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию "взаимозаменяемость".
2. Назовите виды взаимозаменяемости.
3. Сущность несвязанного способа образования форм и размеров.
4. Дайте определение понятию "первоисточник увязки".
5. Объемные средства увязки.
6. Перечислите основные способы построения поверхностей.
7. Сущность графического способа батоксов и горизонталей.
8. Сущность кинематического способа задания поверхностей.
9. Сущность ПШМ обеспечения взаимозаменяемости.
10. Назначение теоретического плаза.
11. Дайте определение понятию "шаблон".
12. Назовите недостатки ПШМ увязки.
13. Сущность ЭШМ увязки форм и размеров.
14. Назовите виды эталонов.
15. Назначение монтажного эталона.
16. Сущность объемных методов увязки форм и размеров.
17. Дайте определение понятию "объемный плаз". Его назначение и конструкция.
18. Сущность бесплазовых методов увязки форм и размеров.
19. ПРИМ увязки.
20. Сущность методов обеспечения взаимозаменяемости по стыкам и разъемам.
21. Назовите основные элементы разделочного стенда.
22. Назначение кондукторной плиты.
23. Назначение плиты стыка.
24. Назначение плиты разделочного стенда.

6. НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА САМОЛЕТОВ

Современный этап производства самолетов характеризуется следующими особенностями:

- применением компьютерных технологий при выполнении технологической подготовки производства;
- применением автоматизированных систем управления предприятием;
- применением автоматизированного оборудования с ЧПУ;
- техническим перевооружением предприятий отрасли.

Непрерывное улучшение конструкции и летно-технических характеристик самолетов обеспечивается использованием в конструкции материалов с высокими физико-механическими свойствами, применением прогрессивных технологий изготовления изделий, информационных технологий и др.

Основными направлениями совершенствования производства самолетов являются:

- применение прогрессивных технологических методов и процессов;
- автоматизация производства;
- использование информационных технологий;
- совершенствование нормативно-технологической документации;
- использование передовых достижений в области организации производства.

Одним из важных направлений повышения эффективности производства является применение современных информационных технологий для интеграции процессов, выполняющихся в ходе всего жизненного цикла продукции и ее компонентов. Это направление реализуется в виде внедрения и использования концепции CALS-технологий.

CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support) – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции. Русскоязычный аналог понятия CALS – Информационная поддержка изделий (ИПИ).

CALS-технологии – современный подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоёмкой продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники и современных информационных технологий на всех стадиях жизненного цикла изделия. За счет непрерывной информационной поддержки обеспечиваются единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников этого цикла: заказчиков продукции, поставщиков/производителей продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала.

Информационная поддержка реализуется в соответствии с требованиями системы международных стандартов, регламентирующих правила

указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными [16].

Цели CALS (ИПИ)-технологий:

- сокращение объема бумажной документации и связанных с ней издержек (используйте электронную информацию);
- уменьшение времени цикла проектирования и производства (параллельное выполнение работ);
- снижение количества ошибок (фиксируйте информацию один раз и используйте много раз);
- интеграция предприятий;
- улучшение реагирования на изменение спроса;
- повышение конкурентоспособности изделий, спроектированных и произведенных в интегрированной среде с использованием современных компьютерных технологий и имеющих средства информационной поддержки на этапе эксплуатации;
- повышение "прозрачности" и "управляемости" бизнес-процессов за счет возможности их анализа и реинжиниринга, проводимых на основе интегрированных информационных моделей.

Основой ИПИ-технологий является *интегрированная информационная среда* (ИИС). На практике термин ИИС используют применительно к конкретному предприятию, если речь о группе предприятий используют термин *единое информационное пространство* (ЕИП).

ИИС – совокупность распределенных баз данных, содержащих сведения об изделиях, производственной среде, ресурсах и процессах предприятия, обеспечивающая корректность, актуальность, сохранность и доступность данных тем субъектам производственно-хозяйственной деятельности, участвующим в осуществлении жизненного цикла изделия, кому это необходимо и разрешено. Все сведения (данные) в ИИС хранятся в виде информационных объектов. В ИИС действует единая система правил представления, хранения информации и обмена ею.

ИИС должна включать в свой состав две основных базы данных: общую базу об изделиях (ОБДИ) и общую базу данных о технологической среде предприятия (ОБДП).

ОБДИ могут составлять три раздела:

- *нормативно-справочный* – служит для хранения данных о материалах, нормалях, покупных комплектующих изделиях, стандартных расчетных методах, стандартах и пр.;
- *долговременный* – содержит данные о собственных разработках предприятия: о ранее выполненных проектах, типовых деталях и узлах собственного производства, типовых и групповых технологических процессах, типовой технологической оснастке, готовых и типовых методиках расчета и др.;

- *актуальный раздел* – содержит данные об изделиях, находящихся на различных этапах жизненного цикла: о конструкции и версиях изделий, технологии изготовления, конкретных экземплярах и партиях изделий, находящихся как в производстве, так и на постпродажных стадиях.

ОБДП может состоять из следующих разделов:

- *экономика и финансы* – содержит сведения о конъюнктуре рынка, о состоянии финансовых ресурсов предприятия, о портфеле заказов и др.;
- *внешние связи предприятия* – содержатся сведения о фактических и возможных поставщиках и потребителях;
- *производственно-технологическая среда предприятия* – содержатся сведения о производственной структуре предприятия, СТО, о транспортно-складской системе предприятия, о кадрах и др.;
- *система качества* – содержатся данные о структуре, действующей на предприятии системы качества, стандартах по качеству, о должностных инструкциях в области качества и прочие сведения по системе качества.

Основное содержание концепции CALS, принципиально отличающее ее от других, составляют инвариантные понятия, которые реализуются (полностью или частично) в течение жизненного цикла изделия. Эти инвариантные понятия условно делятся на две группы:

- основные ИПИ-принципы;
- базовые ИПИ-технологии.

К *основным* принципам относятся:

- безбумажный обмен данными с использованием электронно-цифровой подписи;
- параллельный инжиниринг (Concurrent Engineering);
- анализ и реинжиниринг бизнес-процессов (Business-processes analysis and reengineering);
- системная организация постпроизводственных процессов жизненного цикла изделия – интегрированная логистическая поддержка ИЛП (Integrated Logistic Support).

К *базовым* технологиям относятся:

- управление проектами (Project Management);
- управление данными об изделии (Product Data Management);
- управление конфигурацией изделия (Configuration Management);
- управление ИИС;
- управление качеством (Quality Management);
- управление потоками работ (Workflow Management);
- управление изменениями производственных и организационных структур (Change Management).

ИПИ-технологии реализуются силами многопрофильных рабочих групп, состоящих из экспертов различных специальностей. Нормативную базу разработок составляют международные и национальные стандарты, регламентирующие выполнение процессов по созданию и применению ИПИ-технологий.

В ИИС информация создается, преобразуется, хранится и передается от одного участника к другому при помощи программных средств.

К программным системам, используемым на различных этапах жизненного цикла изделия, относятся:

- автоматизированные системы конструкторского и технологического проектирования (CAD, CAE, CAM, CAPP);
- программные средства управления данными об изделии (PDM);
- автоматизированные системы управления предприятием (MRP, ERP-системы);
- программные средства моделирования и анализа бизнес-процессов (CA ERwin Process Modeler, Design/IDEF, Business Studio);
- программные средства управления потоками работ (WFM);
- программно-методические средства анализа логистической поддержки и ведения баз данных по результатам анализа (LSA/LSAR) и др.

Использование ИПИ-технологий позволяет сократить:

- затраты на проектирование до 30 %;
- время на разработку изделий от 40 до 60 %;
- затраты на подготовку технической документации от 20 до 40 %;
- сроки технологической подготовки в 2 раза;
- затраты на разработку эксплуатационной документации до 30 %.

При решении задач конструкторской подготовки с применением информационных технологий в настоящее время в авиационной промышленности достигнуты значительные успехи. Проектирование самолета выполняется с использованием графических систем автоматизированного проектирования. При решении задач, связанных с расчетами на прочность, используются системы конечно-элементного анализа. Отработана методология разработки электронных моделей и их использования при решении различных задач подготовки производства. Разработка технологических процессов также выполняется с использованием программных систем.

Передовые предприятия авиационной промышленности внедряют систему бесплазовой подготовки производства.

Ведутся работы по разработке и внедрению автоматизированных систем менеджмента качества (АСМК).

Важным фактором повышения производства самолетов является использование прогрессивных технологий и оборудования [23, 24].

В механообрабатывающем производстве:

- широкое использование высокоскоростной обработки и многооперационных станков;

- использование зеркального фрезерования;
- использование дробеструйной обработки.

В литейном производстве:

- расширение применения методов быстрого прототипирования;
- применение методов вакуумно-пленочной формовки;
- применение литья под низким давлением;
- применение литья в облицованные кокили.

В заготовительно-штамповочном производстве – использование станков с ЧПУ для формообразования длинномерных обшивок.

В агрегатно-сборочном производстве:

- использование прогрессивного ручного механизированного инструмента;
- использование упрочняющих методов обработки отверстий для повышения ресурса болтовых соединений;
- внедрение и использование клепальных автоматов с ЧПУ;
- использование стыковочных стендов с ЧПУ.

В производстве изделий из композитных материалов:

- использование новых материалов с высокими характеристиками прочности и упругости;
- разработка технологических процессов изготовления изделий интегральной конструкции.

К организационным мероприятиям совершенствования относится использование поточного метода и группового метода производства.

Важным фактором совершенствования производственных систем предприятий авиационной промышленности является использование методов *бережливого производства* (Lean production). Применение технологий бережливого производства (Лин-технологий) позволяет повысить эффективность работы предприятий: сокращение производственного цикла, снижение затрат, повышение качества продукции.

Повышение эффективности достигается за счет *снижения потерь* в процессе производства изделий.

Потерями считаются *все действия*, потребляющие ресурсы и не создающие *ценности* для потребителя. С точки зрения производства ценностью для потребителя являются те действия, которые обеспечивают требуемые свойства продукции и за которые он готов заплатить.

Основные виды потерь [2, 18]:

- 1) *Потери из-за перепроизводства* (производство изделий, которые не пользуются спросом; производство продукции в большем объеме раньше или быстрее, чем это требуется на следующем этапе процесса).

2) *Потери времени из-за ожидания* (перерывы в работе, связанные с ожиданием людей, материалов, оборудования или информации).

3) *Потери из-за излишней обработки* (дополнительная обработка изделия из-за низкого качества инструмента, ошибок проектирования и др.).

4) *Потери из-за лишних движений при выполнении операций* (любое перемещение людей, инструмента или оборудования, которое не добавляет ценность конечному продукту).

5) *Потери из-за лишних запасов* (любое избыточное поступление продукции в производственный процесс, будь то сырье, полуфабрикат или готовый продукт).

6) *Потери при транспортировке* (при транспортировке изделий или составных частей, материалов внутри цеха или предприятия).

7) *Потери из-за выпуска дефектной продукции* (продукции, требующей проверки, сортировки, утилизации, замены или доработки).

8) *Потери из-за неиспользованного потенциала персонала* – потери времени, идей, навыков, возможностей совершенствования и приобретения опыта сотрудников.

Основными принципами бережливого производства являются:

1) *Определение ценности продукта* – понимание того, что является ценностью для потребителя.

2) *Определение потока создания ценности для данного продукта* – анализ действующей системы производства и определение потерь.

3) *Обеспечение непрерывного потока создания ценности продукта* – создание производственного потока, обеспечивающего непрерывное движение от сырья до готовой продукции.

4) *Использование системы вытягивания продукта* – организация производства изделий так, чтобы операции на предыдущей стадии выполнялись по запросу с последующей стадии обработки.

5) *Непрерывное совершенствование* – постоянное улучшение деятельности с целью увеличения ценности и уменьшения потерь.

Принципы реализуются с помощью методов и инструментов.

К методам бережливого производства относятся:

- *система организации рабочего места* (система 5S) – система наведения порядка, чистоты и укрепления дисциплины, состоящая из пяти принципов: сортировка, рациональное расположение, уборка, стандартизация, совершенствование;

- *картирование потока создания ценности* (Value Stream Mapping) – составление карт с описанием всех видов действий, выполняемых в ходе создания ценности продукта или семейства продуктов. Составляются карты текущего состояния процесса с указанием потерь. Затем разрабатываются карты будущего состояния с учетом применения мероприятий по снижению потерь;

- *организация единичного производственного потока* – метод работы, при котором станок или процесс (например, проектирование, принятие заказа или производство) обрабатывает не больше одного изделия одновременно;

- *визуальное управление и контроль* – способы и технические устройства, информирующие о том, как должна выполняться работа или позволяющие оценить текущее состояние процесса – норма или отклонение;

- *система быстрой переналадки оборудования* (SMED – Single Minute Exchange of Dies) – правила и процедуры, позволяющие выполнить переналадку (например, смену пресс-форм) производственного оборудования за минимальное время;

- *система всеобщего обслуживания оборудования* (TPM – Total Productive Maintenance) – комплекс мероприятий, направленных на то, чтобы технологическое оборудование постоянно находилось в работоспособном состоянии, обеспечивался выпуск качественной продукции, выполнялись требования безопасной работы, снижалось влияние на окружающую среду;

- *использование системы "точно вовремя"* (JIT – Just-in-time) – системы, обеспечивающие поставку предметов труда в требуемое время и в требуемом количестве по мере необходимости;

- *стандартизированная работа* – работа с применением документов (стандартных операционных процедур) с точным описанием каждого действия для каждого процесса и исполнителя;

- *система предотвращения выпуска бракованной продукции* – использование методов и устройств, предотвращающих появление дефектов;

- *система непрерывного совершенствования* (Кайдзен) – принципы и методы, обеспечивающие непрерывное, постоянное улучшение деятельности предприятия.

Инструментами бережливого производства являются:

- карты текущего и будущего состояний потока создания ценности;
- диаграмма "спагетти";
- доски (андоны) с информацией;
- звуковая сигнализация;
- карточки КАНБАН;
- датчики, фотоэлементы, устройства от "ошибок" и др.

Внедрение бережливого производства выполняется поэтапно, начиная с пилотных проектов. Требуется организация обучения персонала, создание инициативных групп из различных специалистов. Эффективность внедрения Лин-технологий зависит от активного участия всех работников предприятия начиная от высшего руководства и заканчивая непосредственно исполнителями на рабочих местах.

Применение современных информационных технологий, бесплазменных технологий, использование высокотехнологичного оборудования позволили за короткие сроки изготовить первый опытный экземпляр самолета SSJ-100 (от момента начала производства до первого вылета прошло три с половиной года). Производство самолетов SSJ-100 осуществляется с применением технологий бережливого производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производство самолетов относится к наукоемким отраслям промышленности. Только высокое качество обеспечивает конкурентоспособность авиационной техники на внутреннем и внешнем рынках. Вследствие этого совершенствование технологии производства самолетов, использование современных технологических процессов и информационных технологий в производстве являются актуальными задачами.

Особенности самолета как объекта производства, в частности, малая жесткость деталей и элементов планера, и в то же время, явление пружинения при изготовлении деталей, приводят к тому, что в производстве самолетов используются специфические методы обеспечения точности и взаимозаменяемости. Следует также отметить, что с каждым годом увеличивается объем применения в конструкции самолетов материалов, механические характеристики которых имеют уровень не ниже традиционных материалов, но с меньшей плотностью, например, титановые сплавы, алюминий-литиевые сплавы, полимерные композитные материалы. Новые материалы требуют применения новых технологических процессов и технологического оборудования.

В настоящее время в связи с развитием вычислительной техники, программного обеспечения, сетевых технологий, появлением современного технологического оборудования в производстве самолетов широко используются методы, позволяющие сократить сроки освоения и запуска в серийное производство, обеспечить выпуск качественной авиационной техники.

Студент, обучающийся по специальности "Самолето- и вертолётостроение", должен изучить систему знаний о технологии производства и получить практические навыки, чтобы после окончания обучения быстрее адаптироваться и эффективно работать на современном самолетостроительном предприятии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барвинок, В. А. Основы технологии производства летательных аппаратов : учеб. для высших технических заведений / В. А. Барвинок, П. Я. Пытьев, Е. П. Корнев. – М. : Машиностроение, 1995. – 400 с.
2. Вэйдер, М. Инструменты бережливого производства : мини-руководство по внедрению методик бережливого производства / М. Вэйдер ; пер. с англ. – 7-е изд. – М. : Альпина Паблишерз, 2011. – 125 с.
3. Герасимов, Б. И. Управление качеством : учеб. пособие / Б. И. Герасимов, Н. В. Злобина, С. П. Спиридонов. – М. : КНОРУС, 2007. – 272 с.
4. Гиссин, В. И. Управление качеством / В. И. Гиссин. – М. : ИКЦ "МарТ", Ростов-н/Д : МарТ, 2003. – 400 с.
5. Горбунов, М. Н. Основы технологии производства самолетов / М. Н. Горбунов. – М. : Машиностроение, 1976. – 260 с.
6. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. – Введ. 01.01.77. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 35 с.
7. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия термины и определения. – Введ. 01.07.79. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 21 с.
8. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – Введ. 01.01.81. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 28 с.
9. ГОСТ 3.1109-82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий. – Взамен ГОСТ 3.1109-73 ; введ. 01.01.83. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 18 с.
10. ГОСТ 14.201-83. Общие правила обеспечения технологичности конструкции изделия. – Взамен ГОСТ 14.201-73 ; введ. 01.01.84. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 13 с.
11. ГОСТ 14.205-83. Технологичность конструкции изделий. Термины и определения. – Взамен ГОСТ 18831-73 ; введ. 01.07.83. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 5 с.
12. ГОСТ Р 50779.11-2000. Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения. – Введ. 29.09.2000. – М. : Госстандарт России. ИПК Центр, 2000. – 37 с.
13. ГОСТ Р 50779.42-99. Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. – Введ. 15.04.1999. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2004. – IV, 32 с.
14. ГОСТ ISO 9000-2011. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – Взамен ГОСТ Р ИСО 9000-2008 ; введ. 01.01.2013. – М. : Стандартиформ, 2012. – 32 с.
15. Избранные главы по авиа- и ракетостроению (в конспектах лекций) : учеб. пособие / А. С. Чумадин [и др.]. – М. : Наука и технологии, 2005. – 656 с.

16. Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия / В. В. Бакаев [и др.] ; под ред. В. В. Бакаева. – М. : Машиностроение – 1, 2005. – 624 с.
17. Клячкин, В. Н. Статистические методы в управлении качеством: компьютерные технологии : учеб. пособие / В. Н. Клячкин. – М. : Финансы и статистика, 2007. – 304 с.
18. Лайкер, Дж. Дао Тойота: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира / Дж. Лайкер ; пер. с англ. – 3-е изд. – М. : Альпина Бизнес Брукс, 2007. – 400 с.
19. Лифиц, И. М. Стандартизация, метрология и подтверждение соответствия : учеб. пособие / И. М. Лифиц. – 10-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2012. – 393 с.
20. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для вузов / А. И. Аристов, Л. И. Карпов, В. М. Приходько, Т. М. Раковщик. – М. : Издательский центр «Академии», 2006. – 384 с.
21. О техническом регулировании : федер. закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (с изменениями от 30.12.2009 № 38-ФЗ).
22. Основы технологии производства летательных аппаратов (в конспектах лекций) : учеб. пособие / А. С. Чумадин [и др.]. – М. : Наука и технологии, 2005. – 912 с.
23. Приоритеты авиационных технологий : В 2 кн. / науч. ред. А. Г. Братухин. – М. : Изд-во МАИ, 2004. – Кн. 1 – 2.
24. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов / А. И. Пекарш, Ю. М. Тарасов, Г. А. Кривов [и др.]. – М. : Аграф-пресс, 2006. – 304 с.
25. Рожков, В. Н. Контроль качества при производстве летательных аппаратов / В. Н. Рожков. – М. : Машиностроение, 2007. – 416 с.
26. Теоретические основы авиа- и ракетостроения (в конспектах лекций) : учеб. пособие для вузов / А. С. Чумадин [и др.]. – М. : Дрофа, 2005. – 784 с.
27. Технологическое обеспечение аэродинамических обводов современного самолета / колл. авторов. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 432 с.
28. Технология машиностроения : учеб. для студ. вузов / Л. В. Лебедев [и др.]. – М. : Академия, 2006. – 528 с.
29. Технология самолетостроения : учеб. для вузов / А. Л. Абибов [и др.] ; под ред. А. Л. Абибова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1982. – 551 с.
30. Технологичность конструкции изделия : справ. / Ю. Д. Амиров, Т. К. Алферова, П. Н. Волков [и др.] ; под ред. Ю. Д. Амирова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1990. – 768 с.
31. Фатхутдинов, Р. А. Управление конкурентоспособностью организации : учеб. / Р. А. Фатхутдинов. – М. : Эксмо, 2005. – 544 с.