

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

**Р. И. Гусева**

**ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ  
ПЛАНЕРА САМОЛЕТА**

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

Комсомольск-на-Амуре  
2013

УДК 621.7.01:629.735.33  
ББК 39.52-06я7  
Г962

***Рецензенты:***

Кафедра «Самолёто- и вертолётостроение филиала ДВФУ  
в г. Арсеньеве Приморского края (директор филиала  
доктор технических наук, профессор **Ю. Ф. Огнев**);  
**А. В. Станкевич**, кандидат технических наук, доцент,  
начальник научно-производственной лаборатории  
технологических процессов НПО филиала ОАО  
«Компания «Сухой» «КнААЗ им. Ю.А. Гагарина»

**Гусева, Р. И.**

Г962 Особенности технологии сборки планера самолета : учеб. пособие  
/ Р. И. Гусева. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ»,  
2013. – 133 с.

ISBN 978-5-7765-1091-5

В учебном пособии рассмотрены по разделам теоретические основы сборки элементов планера самолета; типы и особенности выполнения соединений при сборке узлов и агрегатов планера; сборка узлов планера самолета; сборка агрегатов планера самолета; общая сборка самолета.

Предлагаемый материал составлен в соответствии с учебной программой дисциплины «Технология сборки самолета» для специальности «Самолёто- и вертолётостроение» и может быть использован в качестве справочного и рекомендательного для составления технологических процессов сборки узлов и агрегатов планера самолета.

Пособие рекомендуется студентам (бакалаврам и магистрам) и аспирантам, обучающимся по специальности «Самолёто- и вертолётостроение».

УДК 621.7.01:629.735.33  
ББК 39.52-06я7

ISBN 978-5-7765-1091-5

© ФГБОУ ВПО «Комсомольский-  
на-Амуре государственный  
технический университет»,  
2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СБОРКИ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАНЕРА.....	6
1.1. Специфика сборочных работ.....	6
1.2. Технологическое членение планера самолета.....	7
1.3. Организация и этапы сборочных работ.....	11
1.4. Схемы сборок и цикловые графики в самолетостроении.....	12
1.5. Контуры планера самолета.....	15
1.6. Требования точности при сборке планера.....	16
1.7. Характер соединений элементов планера.....	18
1.8. Способы базирования при сборке.....	19
1.8.1. Сборочная база и ее свойства.....	19
1.8.2. Способы базирования, применяемые при сборке.....	20
1.8.3. Способы базирования при узловой сборке.....	21
1.8.4. Способы базирования при агрегатной сборке.....	28
1.8.5. Способы базирования при стыковке отсеков и агрегатов.....	31
1.9. Обеспечение взаимозаменяемости в самолетостроении.....	33
1.9.1. Общие сведения.....	33
1.9.2. Основные особенности связанного метода.....	38
1.9.3. Особенности независимого метода увязки.....	41
1.9.4. Особенности метода объемной увязки.....	43
2. РАСЧЁТ ОЖИДАЕМОЙ ТОЧНОСТИ СБОРКИ.....	44
2.1. Уравнения погрешностей при различных способах базирования.....	46
2.2. Разработка структурной схемы увязки при расчёте точности сборки.....	48
2.3. Основные формулы для расчёта точности сборки.....	49
3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ....	51
4. ТИПЫ СОЕДИНЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ СБОРКЕ.....	57
4.1. Особенности заклепочных соединений.....	57
4.2. Способы герметизации клепаных швов и изделий.....	61
4.3. Основные сведения о паяных соединениях и припоях.....	65
4.4. Общая характеристика клеевых соединений.....	67
4.5. Общая характеристика резьбовых соединений.....	72
4.6. Общая характеристика сварных соединений.....	75
4.7. Особенности выполнения клеезаклепочных и клеесварных соединений.....	78

5. СБОРКА УЗЛОВ ПЛАНЕРА САМОЛЕТА.....	79
5.1. Типы технологических процессов сборки.....	79
5.2. Сборка клепаного лонжерона.....	81
5.3. Сборка трехслойных паяных панелей.....	84
5.4. Сборка трехслойных панелей клееной конструкции.....	89
5.5. Сборка узлов и панелей с пенопластовыми заполнителями.....	95
6. АГРЕГАТНАЯ СБОРКА САМОЛЕТА.....	99
6.1. Сборка панелированных конструкций.....	99
6.1.1. Сборка отъемной части крыла.....	99
6.1.2. Сборка носового отсека фюзеляжа.....	102
6.1.3. Сборка отсека фюзеляжа в «упрощенном» стапеле.....	107
6.2. Сборка непанелированных конструкций.....	110
6.2.1. Сборка клепаного элерона.....	110
6.3. Сборка по базовым и сборочным отверстиям стапеля.....	114
7. ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ЦЕНТРИРУЮЩИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ СБОРКЕ САМОЛЕТА.....	117
8. ОБЩАЯ СБОРКА САМОЛЕТА.....	120
8.1. Организационные формы общей сборки самолета.....	123
8.2. Особенности нивелировочных работ.....	124
8.3. Особенности аэродромной отработки.....	128
8.3.1. Содержание работ в КИС аэродромного цеха.....	128
8.3.2. Содержание работ при летных испытаниях.....	131
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	132
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	133

## ВВЕДЕНИЕ

Самолето- и вертолетостроение – специальная отрасль машиностроения, связанная с изготовлением летательных аппаратов, представляющих собой сложные, тонкостенные, крупногабаритные конструкции, изготовленные из дорогостоящих, труднообрабатываемых материалов.

Правильно спроектированные технологические сборочные процессы для узлов и агрегатов планера самолета обеспечивают точность изготовления конструкций, их взаимозаменяемость, способствуют снижению массы конструкции, обеспечивают качество, эксплуатационную надежность и ресурс отдельных агрегатов и всего планера в течение всего времени эксплуатации.

Современный период развития авиационной техники характерен значительным ускорением темпов принципиальных изменений и усовершенствований конструкций летательных аппаратов, использованием высокоэффективных двигателей, разнообразных композиционных материалов и нового электронного бортового оборудования, поэтому создание самолетов нового поколения (как военных, так и гражданских) ведется с применением современных методов автоматизированного трехмерного компьютерного проектирования, прогрессивных технологических процессов, высокотехнологического оборудования.

Основные принципы современного сборочного производства:

- применяется бесплазовое производство;
- применяется так называемая бесстапельная сборка;
- применяются новейшие высокоскоростные станки с числовым программным управлением (СЧПУ);
- ведется автоматизированное проектирование оснастки и технологической документации;
- проводится переподготовка и повышение квалификации инженерного состава, мастеров, обслуживающего персонала СЧПУ и рабочих-сборщиков.

Суть такого подхода состоит в предварительном моделировании планируемых процессов по изготовлению и сборке отдельных узлов и агрегатов самолета, что позволяет оптимизировать технологический процесс. В производство от разработчика впервые передаются не чертежи, а электронные модели сборок, узлов, деталей. Основным преимуществом данного подхода является повышение качества работ, сокращение сроков и себестоимости изделия.

Например, использование электронных моделей при изготовлении самолета SSJ-100 позволило отказаться от физических эталонов и шаблонов формы и размеров и реконструировать процессы увязки элементов конструкции и технологической оснастки.

Электронные модели оснастки и технологических процессов дают возможность реализовать программное обеспечение на всех этапах производства, включая сборку и контроль геометрических параметров. Такой подход дает возможность выполнения более точной и качественной увязки конструкции (погрешности до 0,003 мм) и позволяет вести отработку конструктивных изменений не на реальной конструкции, а на «виртуальной».

Внедрение прогрессивных технологических процессов изменило методологию технологической подготовки производства и привело к необходимости технического перевооружения производства.

Например, для изготовления агрегатов и деталей самолета SSJ-100 на КнААПО установлены современные пятикоординатные станки для механической обработки металлических деталей Forest Line V-Star, прессы АСВ PL1500, клепальные автоматы Brotje и другое высокопроизводительное оборудование, позволяющее изготавливать длинномерные габаритные детали с точностью в пределах 0,05 мм. Лазерные стенды Brotje позволяют выполнять сборку самолета по бесстапельной технологии. Все это сократило трудоёмкость изготовления планера самолета.

## **1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СБОРКИ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАНЕРА**

### **1.1. Специфика сборочных работ**

Специфическими особенностями сборочных работ при сборке планера самолета являются факторы, прямо и косвенно влияющие на **трудоёмкость, цикл и качество** проведения сборочных работ:

1) использование при сборке планера самолета тонколистовых, длинномерных, маложестких деталей (стрингеры, обшивки, профили, прогибающиеся под действием собственного веса) обуславливает необходимость применения специальных методов сборки и сборочных приспособлений для получения точных сборных контуров;

2) большинство узлов и агрегатов планера самолета имеют сложные конструктивно-силовые схемы, которые необходимо выполнить из нежестких деталей;

3) планер самолета включает от 10 000 до 40 000 деталей, что говорит о многодетальности конструкции самолета или большой номенклатуре деталей и элементов планера;

4) для разработки технологической документации на изготовление и сборку деталей, узлов и агрегатов, всего планера самолета требуются большие затраты времени;

5) для изготовления сборочной и контрольно-сборочной оснастки необходимы большие расходы материалов, времени и труда, поэтому до 30 % стоимости изделия – это стоимость оснащения производства;

б) при агрегатной и общей сборке планера используются большой объем ручного труда и малый объем механизации и автоматизации сборочных работ (до 40 % от общей трудоемкости сборочных работ составляет ручной труд сборщиков);

7) вследствие быстрого морального старения самолета и общего прогресса авиации требуется частая смена объектов производства (5 – 7 лет эксплуатации после серийного выпуска для военных самолетов, 10 – 15 лет – для гражданских самолетов).

## 1.2. Технологическое членение планера самолета

Самолет является сложным объектом производства, и организовать его сборку из десятков тысяч деталей практически невозможно в одном месте и в одном сборочном приспособлении с требуемой точностью.

Поэтому еще на этапе проектирования самолет расчленяют на отдельные сборочные единицы (проводят конструктивно-технологическое членение) планера (рис. 1.1).

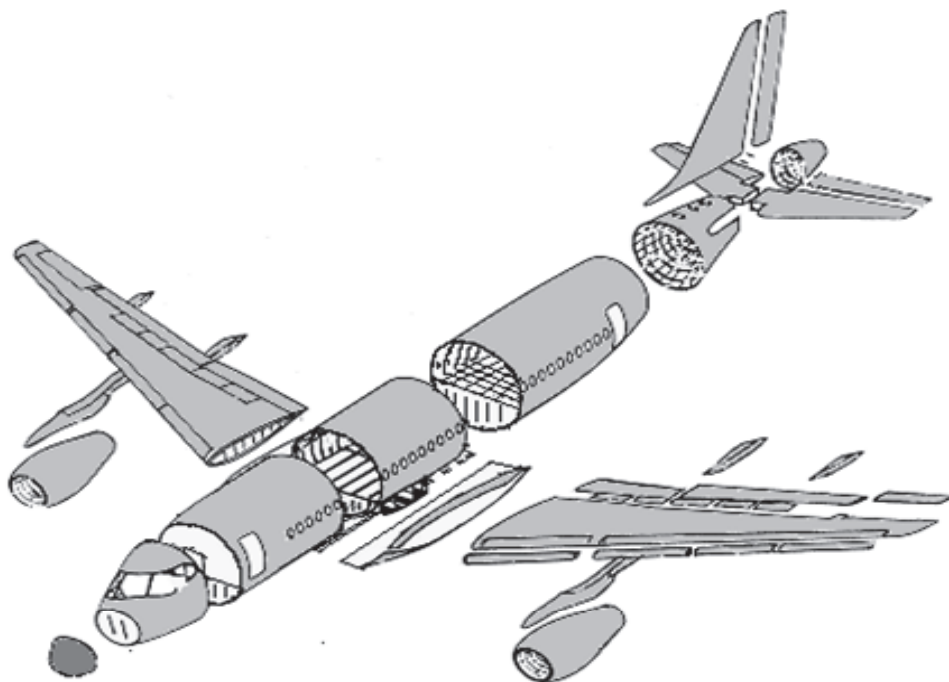


Рис. 1.1. Членение самолета SSJ100

Членение планера самолета на **сборочные единицы (СЕ)** позволяет широко применять разделение труда, выполнять сборочные работы параллельно на большом количестве рабочих мест, использовать средства механизации и автоматизации, что позволяет сократить цикл производства сборочных работ.

Кроме того, в этом случае создаются более удобные условия труда для сборщиков, обеспечивается удобство транспортировки и обслуживания агрегатов и систем планера, можно провести быструю замену малоресурсных частей самолета.

Основными сборочными единицами планера самолета являются:

**Агрегат** – наиболее крупная часть самолета, выполняющая определенную функцию на земле и в полете, например, размещение экипажа и пассажиров в фюзеляже, топлива в крыле; управление самолетом с помощью оперения, создание подъемной силы крылом.

**Секция (отсек)** – часть агрегата. Например, к секциям или отсекам относятся носовая и хвостовая части фюзеляжа, крыла; центроплан, отъемная часть крыла (ОЧК); предкрылок, закрылок, элерон, руль высоты.

**Панель** – часть агрегата или секции. Панель может быть подкрепленной, фрезерованной и многослойной, в частности, трехслойной (рис. 1.2).

Характерной особенностью панели является ее незамкнутость и открытость, что обеспечивает хороший доступ к ней при выполнении сборочных работ.

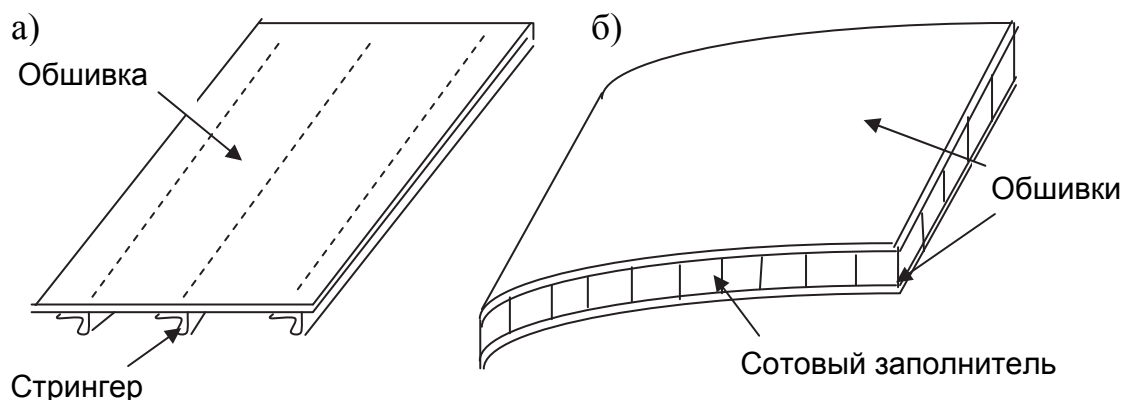


Рис. 1.2. Принципиальные схемы панелей:  
а – подкрепленная; б – трехслойная

**Узел** – наиболее мелкая сборочная единица, собираемая непосредственно из деталей. Характерной особенностью узла является возможность сборки, контроля и приемки его независимо от других узлов, панелей, секций (например: нервюры, шпангоут, лючок).

Соединение сборочных единиц планера самолета проводят при помощи разъемов и стыков: конструктивных, технологических, эксплуатационных.

**Конструктивные разъемы** применяют:

- из-за резкой разницы в конструкции агрегатов и отсеков (соединение крыла с фюзеляжем);



- особенностей технологии изготовления сочленяемых сборочных единиц (герметичные отсеки сочленяются с негерметичными);
- применения для отдельных частей агрегатов специфических или различных по характеристике материалов. Например, носовая часть самолета выделяется в отдельный отсек, так как она выполняется из специального теплостойкого и радиопрозрачного материала.

Конструктивные разъемы выполняются *разъемными*. При этом применяют болтовые, винтовые соединения.

**Технологические разъемы** выполняются по технологическим требованиям. Например, для сборки крупногабаритного агрегата нет соответствующего оборудования и необходимо собирать его по частям или необходимо применение различных технологий при изготовлении отдельных элементов агрегата, или членение агрегата вызвано сложностью его форм. Технологические разъемы выполняют *неразъемными* – *кленкой, сваркой* или *склеиванием*.

**Эксплуатационные разъемы** вводят для лучшего обеспечения условий труда при выполнении ремонтных, профилактических, регламентных работ при замене двигателей, отдельных частей самолета, а также исходя из требований транспортировки самолета к месту эксплуатации. Такие разъемы выполняют с помощью болтовых, винтовых соединений.

Но необходимо отметить, что членение планера на сборочные единицы ведет к увеличению веса агрегатов и конструкции в целом, так как для усиления прочности в месте разъема необходимо устанавливать усиленные накладки, подкрепляющие элементы, профили. Поэтому стараются совместить по возможности отдельные типы разъемов друг с другом, чтобы излишне не увеличивать вес конструкции.

Конструктивно разъемы выполняются с помощью стыков.

Различают следующие варианты стыков:

1) **фланцевый прямой стык** – самый удобный с конструктивной, технологической и эксплуатационной точек зрения (рис. 1.3, а). Он создает равномерные напряжения по периметру стыка и для его выполнения нужна одна мастер-плита. Трудоёмкость минимальная;

2) **фланцевый косой стык** (рис. 1.3, б) – в этом случае труднее обеспечить равномерность напряжений по периметру стыка, появляется сложность в обеспечении взаимозаменяемости контуров стыка, стоимость оснастки возрастает в 4 – 8 раз. Трудоёмкость выше, чем при прямом стыке;

3) **фланцевый ступенчатый стык** (рис. 1.3, в) – с технологической точки зрения стык сложен в выполнении, получается тяжелым, стоимость оснастки выше, чем при косом стыке. Применение таких стыков нежелательно, они относятся к нетехнологичным стыкам. Трудоёмкость выполнения такого стыка максимальная по сравнению с другими видами стыков.

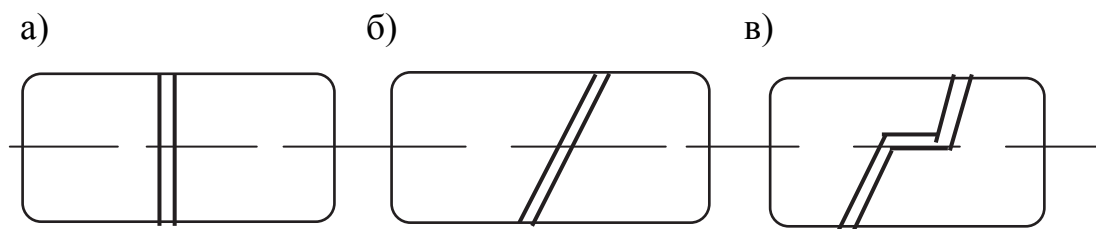


Рис. 1.3. Фланцевые стыки: а – прямой; б – косой; в – ступенчатый

**Разъемный стык типа «ухо-вилка»** – распространенный вид стыка (рис. 1.4, а). При его выполнении необходимо обеспечить совпадение плоскостей «щек» уха и вилки, соосность отверстий уха и вилки, точность размеров между стыковыми узлами.

**Узловой разъемный стык «гребенка»** – частный случай соединения «ухо-вилка» (рис. 1.4, б).

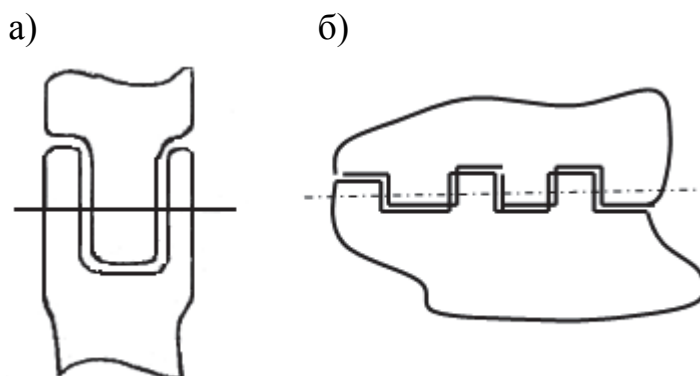


Рис. 1.4. Стыки: а – «ухо-вилка»; б – «гребенка»

**Неразъемный компенсирующий или скользящий стык** широко применяется при сопряжении двух фюзеляжных панелей друг с другом. Сборка ведется в стапеле (рис. 1.5, а).

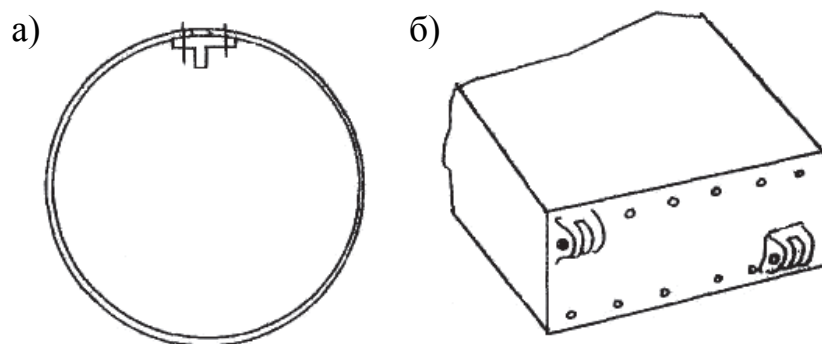


Рис. 1.5. Неразъемные стыки:  
а – компенсирующий; б – смешанный

**Смешанный стык** (например, фланцевый и «ухо-вилка») очень сложно выполнить, он трудоемок, сборка таких соединений требует большого количества подгоночных работ, добиться точного прилегания плоскостей фланцев не удастся, совпадение отверстий обеспечить не всегда можно без доработок (см. рис. 1.5, б).

### 1.3. Организация и этапы сборочных работ

Организация технологии сборки планера самолета в значительной степени зависит от назначения и общей компоновки самолета, внешних аэродинамических обводов, степени конструктивно-технологического членения планера, расположения силового набора в отсеках и агрегатах планера, оформления и выполнения конструктивных, технологических и эксплуатационных разъемов.

Но классическим приемом организации сборочных работ является деление всего сборочного производства на три этапа:

1) **узловая сборка**, на которой собирают сборочные единицы типа лонжеронов, нервюр, шпангоутов, створок шасси и панелей. Трудоемкость этих работ составляет 12 – 15 % всей трудоемкости изготовления планера;

2) **агрегатная сборка**, включающая сборку отсеков, секций, мелких и крупных агрегатов, соединение отсеков в агрегат. От общей трудоемкости этот вид работ составляет 18 – 32 %;

3) **общая сборка самолета**, на которой проводят окончательную сборку самолета из агрегатов, монтаж коммуникаций и оборудования на агрегатах, испытательные работы коммуникаций и оборудования на нормальное функционирование, а также нивелировочные работы. Трудоемкость работ по стыковке отсеков и агрегатов, соединению коммуникаций лежит в пределах 12 – 20 % всей трудоемкости изготовления самолета.

Заключительным этапом сборочных работ являются работы по проверке работоспособности каждой из самолетных систем, нивелирование самолета в целом и испытательные полеты.

Общая трудоемкость сборочных работ составляет 42 – 67 % от всей трудоемкости изготовления самолета.

На этапе узловой сборки применяют достаточное количество механизированного и автоматизированного оборудования и инструмента, которые позволяют значительно снизить трудоемкость сборки узлов, подузлов и панелей и сократить применение ручного труда на сборке.

Наиболее трудоемкой и дорогой частью сборочных работ является **агрегатная сборка**, поскольку из-за сложности форм аэродинамических обводов агрегата трудно обеспечить механизацию сборочных работ, необходимо применять дорогостоящие клепальные автоматы и станки.

## 1.4. Схемы сборок и цикловые графики в самолетостроении

Теоретически сборку планера самолета можно вести:

- только из деталей и небольшого количества узлов;
- из большого количества узлов и панелей, предварительно собранных на других участках.

В зависимости от выбранного варианта сборки сборочные работы проводят по дифференцируемой или недифференцируемой схеме.

**Дифференцируемая схема** сборки применяется для сборки агрегатов, собираемых из узлов. Только небольшая часть деталей, преимущественно жестких, поступает сразу в стапель сборки. К агрегатам, к которым применима дифференцируемая схема сборки, относятся отсеки фюзеляжа, кессон крыла и отъемная часть крыла, центроплан. Такая сборка применяется при серийном (мелкосерийном) производстве, когда используется достаточно большое количество сборочных приспособлений и сборщиков.

Если же сборка узла или агрегата проводится в основном из деталей, то сборку определяют как **недифференцируемую**. При такой схеме сборки применяют труд сборщиков более высокой квалификации, сложные сборочные приспособления. Недифференцируемая схема сборки в основном используется в индивидуальном и опытном производстве при производстве небольших самолетов.

В зависимости от организации сборочных работ в самолетостроении различают **последовательную и последовательно-параллельную схемы сборок**. При этом оперируют понятиями: трудоёмкость сборки  $\Phi_{сб}$  и цикл сборки  $\Pi_{сб}$ .

**Трудоёмкость сборки**  $T_{сб}$  (часы) – это время, затраченное непосредственно на сборочные работы (без учета перерывов и нерабочих часов).

**Цикл сборки**  $\Pi_{сб}$  – это полное время между двумя последовательными выпусками сборочных единиц с учетом перерывов, нерабочих часов. Цикл определяется в часах, днях при указании числа смен в день. Эмпирическая формула для расчёта цикла сборки, связывающая трудоёмкость и цикл сборки по участкам сборки, записывается следующим образом:

$$\Pi_{сб} = \sum_1^n \frac{T}{p * \kappa_i},$$

где  $n$  – число участков сборки с заданной трудоёмкостью;  $p$  – количество рабочих, проводящих сборочные работы, на отдельных участках сборки;  $\kappa_i$  – коэффициент, учитывающий загруженность производства.

**Последовательная** сборка сборочной единицы идет в основном из деталей в одном сборочном приспособлении; конструкция собираемой сборочной единицы не расчленена на узлы и панели (непанелированная конструкция).

Сборка ведется поэтапно (вначале идет сборка каркаса, затем соединение каркаса с обшивками) в одном или двух сборочных приспособлениях. Сборка отличается повышенной трудоёмкостью и длительным циклом. Иллюстрация схемы сборки последовательным способом приведена на рис. 1.6.

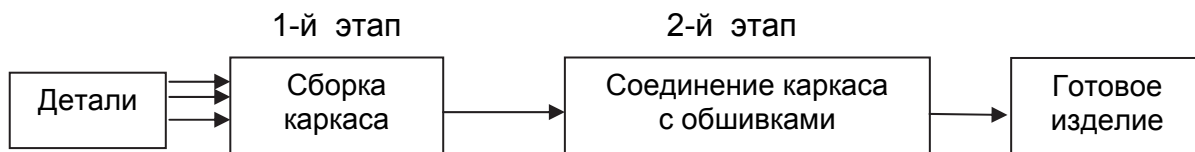


Рис. 1.6. Блок-схема последовательной сборки

**Последовательно-параллельная** сборка относится к сборке конструкции, расчлененной на панели и узлы (применяют при сборке агрегатов, редко для сборки сложных узлов). Панели, узлы, под сборки предварительно собирают в нескольких различных несложных сборочных приспособлениях еще на этапе узловой сборки, при этом нет стесненных условий труда сборщиков, привлекается большее количество сборщиков, что ведет к уменьшению общего цикла сборки агрегата.

Эта схема сборки наиболее широко применяется в самолетостроении, так как имеет меньший цикл сборки агрегата; используется большее количество недорогой оснастки. Иллюстрация последовательно-параллельной схемы сборки приведена на рис. 1.7.

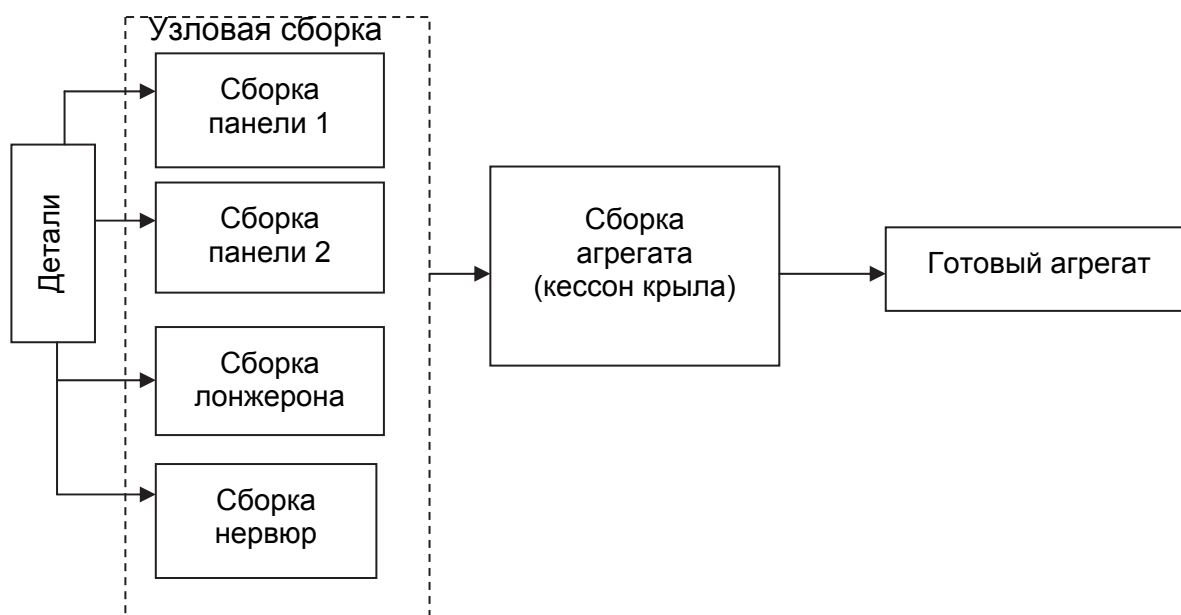


Рис. 1.7. Блок-схема последовательно-параллельной сборки агрегата

Иллюстрации схем сборок во времени (цикловой график) приведены на рис. 1.8 – 1.9.

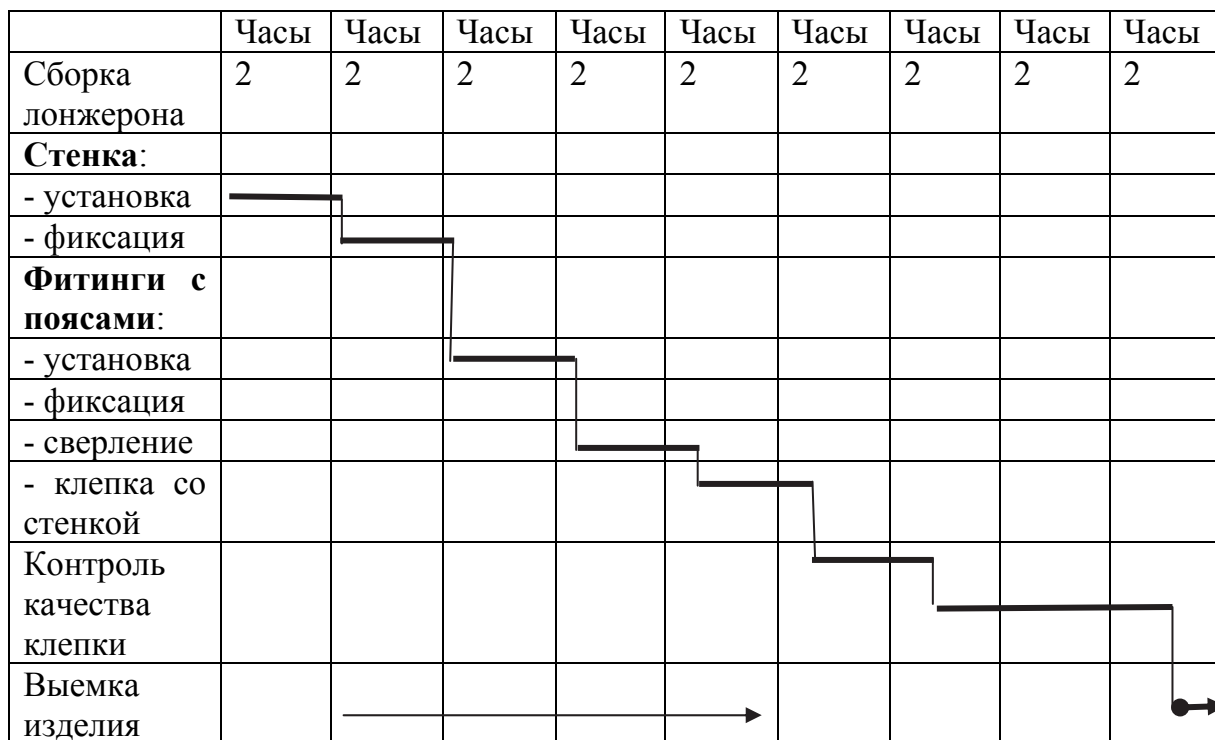


Рис. 1.8. Иллюстрация последовательной схемы сборки лонжерона

Из рис. 1.8 следует, что сборка клепаного узла состоит из последовательно проводимых операций установки, фиксации, сверления и клепки соединяемых элементов.

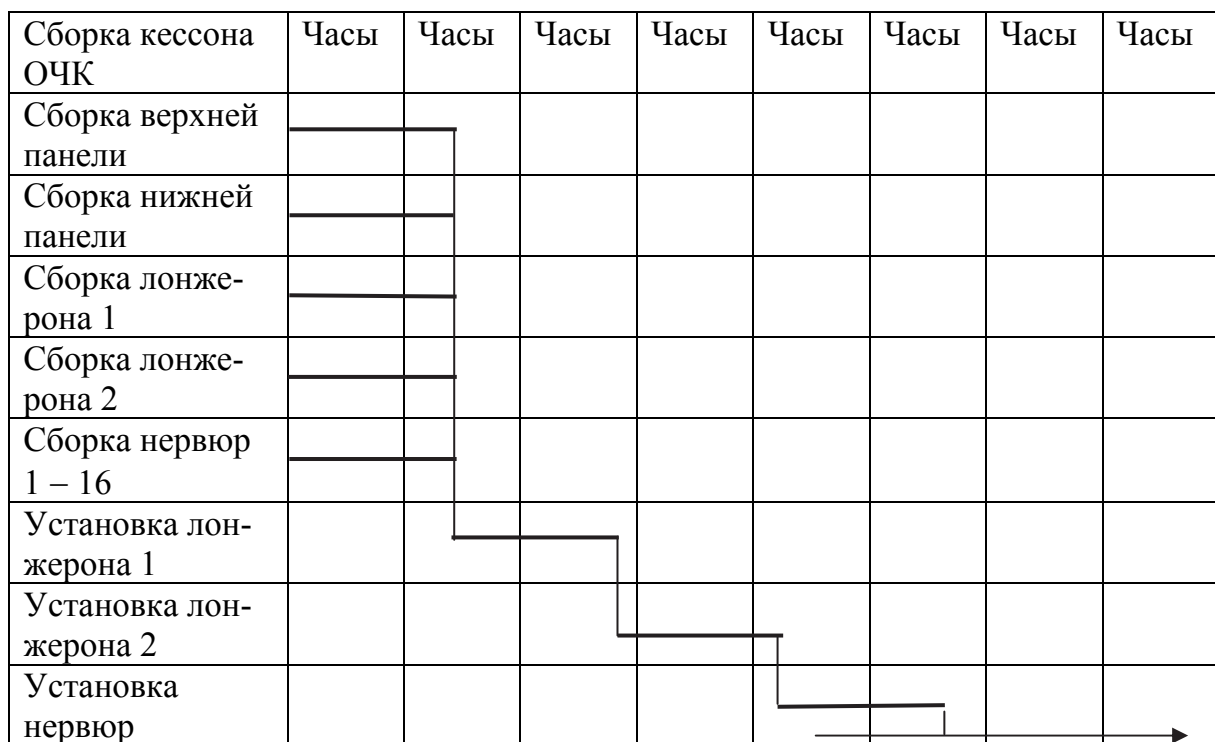


Рис.1.9. Иллюстрация последовательно-параллельной сборки ОЧК

Из рис. 1.9 следует, что сборка клепаной конструкции кессона крыла ведется по дифференцируемой, последовательно-параллельной схеме сборки: на участках узловой сборки параллельно собирают в различных сборочных приспособлениях панели, лонжероны, нервюры, затем уже готовые узлы поступают в стапель окончательной сборки кессона, и сборка идет последовательным поступлением узлов в стапель окончательной сборки агрегата.

При выборе схем сборок необходимо в первую очередь учитывать мощность предприятия, программу выпуска изделия, конструкцию изделия, используемые в нем материалы, выбранные методы и способы базирования основных деталей.

## 1.5. Контуры планера самолета

В процессе проектирования и разработки сборочных единиц вводятся понятия функциональных и конструктивных контуров планера самолета.

**Функциональные** контуры – теоретические поверхности элементов планера, имеющие функциональное назначение (например: теоретический контур внешнего обвода шпангоута, теоретический контур аэродинамического контура фюзеляжа; поверхность пола в пассажирском салоне самолета; контур стыка нервюры с панелью крыла, теоретический контур внешней обшивки фюзеляжа).

**Конструктивный** контур реализует функциональный контур, т.е. показывает форму и размеры входящих в функциональный контур деталей. Следовательно, один и тот же функциональный контур может быть реализован несколькими вариантами конструктивных контуров (рис. 1.10).

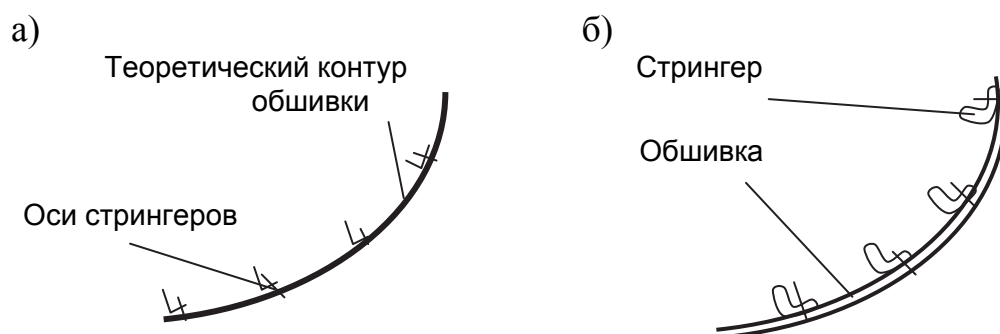


Рис. 1.10. Контуры соединения стрингеров с обшивкой крыла:  
а – функциональный (теоретический); б – конструктивный

По **функциональному** назначению все контуры подразделяются:

- на контуры аэродинамических обводов,
- контуры разъемов и стыков,
- контуры внутреннего силового набора элементов планера (панелей, шпангоутов).

## 1.6. Требования точности при сборке планера

На этапе проектирования для самолета разрабатываются **требования по точности внешних обводов планера** для того, чтобы обеспечить заданные скорости, дальность полета и высоту полета.

При этом весь планер самолета разбивают на **зоны допусков** (рис. 1.11) по степени точности (обычно для дозвуковых самолетов разрабатывают три зоны допусков, для сверхзвуковых самолетов – четыре зоны и более зон допусков).

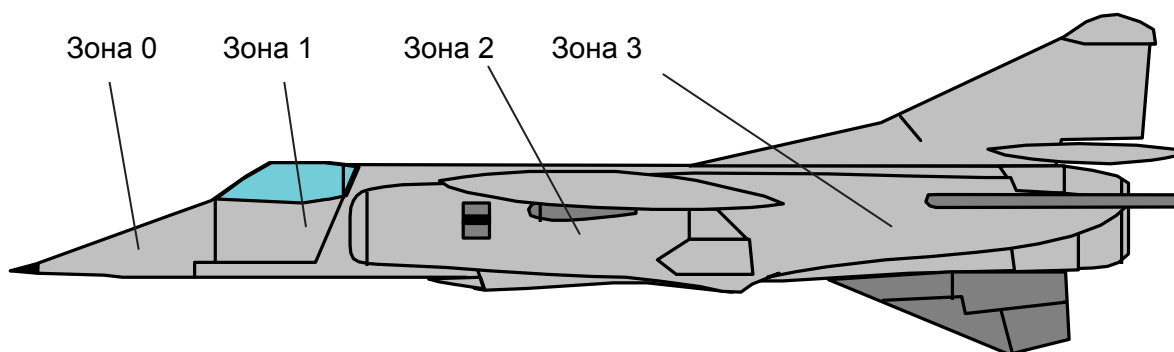


Рис. 1.11. Зоны допусков для фюзеляжа самолета

**Первая зона допусков** устанавливается для крыла, имеет **минимальные** допуски ( $\pm 1,0$  мм) и назначается для передних частей агрегатов, создающих подъемную силу (крыло, оперение).

**Вторая зона допусков** устанавливает **средние по величине** допуски и назначается для хвостовых частей агрегатов, создающих подъемную силу.

**Третья зона допусков** устанавливается для агрегатов, не создающих подъемной силы (фюзеляж, мотогондолы, некоторые конструкции оперения).

Для третьей и четвертой зон допусков устанавливаются **максимальные** допуски (2,0...2,5 мм).

Перечень основных геометрических параметров точности для контуров планера приводится в специальных технических требованиях и включает:

- параметры, влияющие на плавность обвода внешних поверхностей агрегатов самолета и вертолета, в зависимости от скорости полета;
- точность положения закладных потайных головок заклепок по отношению к внешней поверхности изделия регламентируется жестко, допуск на утопание головки заклепки должен быть минимальным или практически сведен к нулю;
- допуски на ступеньки и зазоры по стыкам неподвижных соединений зависят не только от зон, но и от расположения стыка относительно набегающего потока воздуха (по потоку или против потока). Наименьшие допуски назначают на поперечные стыки;



- допуски на углы, устанавливающие взаимное положение агрегатов самолета относительно друг друга;
- допуски на точность сопряжения подвижных соединений, на зазор между сопрягаемыми агрегатами (крыло – элерон);
- допуски на угол стреловидности крыла и оперения, перекос осей мотогондол, соосности секций фюзеляжа, на угол поперечного V;
- допуски на волнистость поверхности планера, характеризующиеся отношением базовой длины между двумя заклепками к высоте волны (хлопуна) между заклепками и находящиеся в пределах  $1/40 \dots 1/1000$ .

На рис. 1.12 представлен пример отклонений размеров на геометрические параметры точности при выполнении заклепочных соединений, выполнении контуров и сопряжений отсеков.

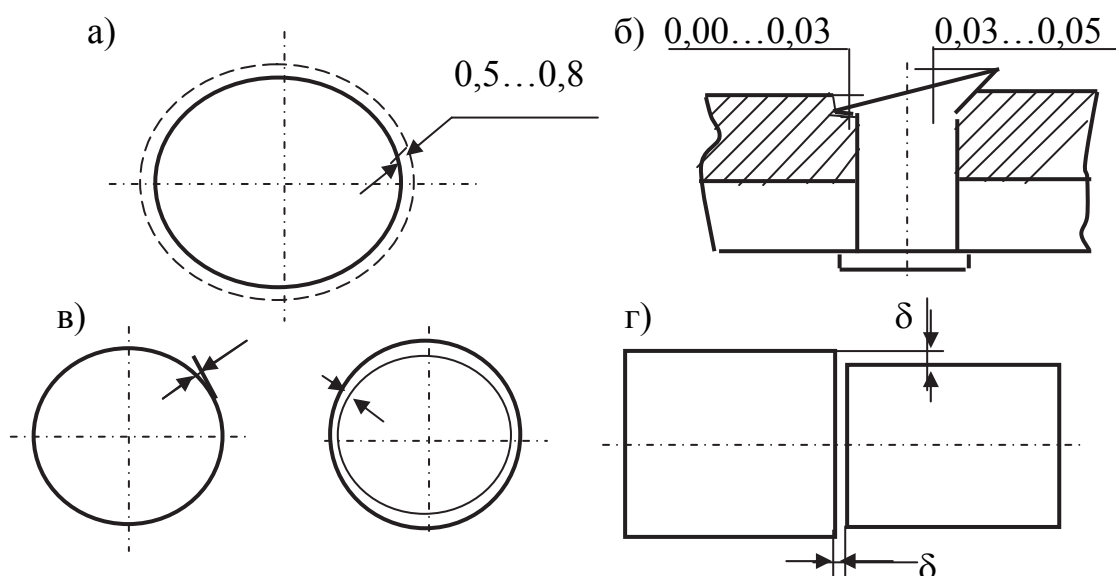


Рис. 1.12. Основные геометрические параметры точности планера самолета: а – внешние обводы; б – положение головки заклепки; в – наличие ступеньки, зазоров; г – точность сопряжения отсеков

Отклонения размеров, которые возможны при соединении отсеков между собой, и возможные отклонения крыла при установке относительно фюзеляжа показаны на рис. 1.13.

При стыковке возможны следующие отклонения:

- несовпадение осей стыкуемых агрегатов;
- разность диаметров стыкуемых отсеков;
- непараллельность плоскостей стыка стыкуемых агрегатов;
- несоосность стыковочных отверстий в стыкуемых агрегатах.

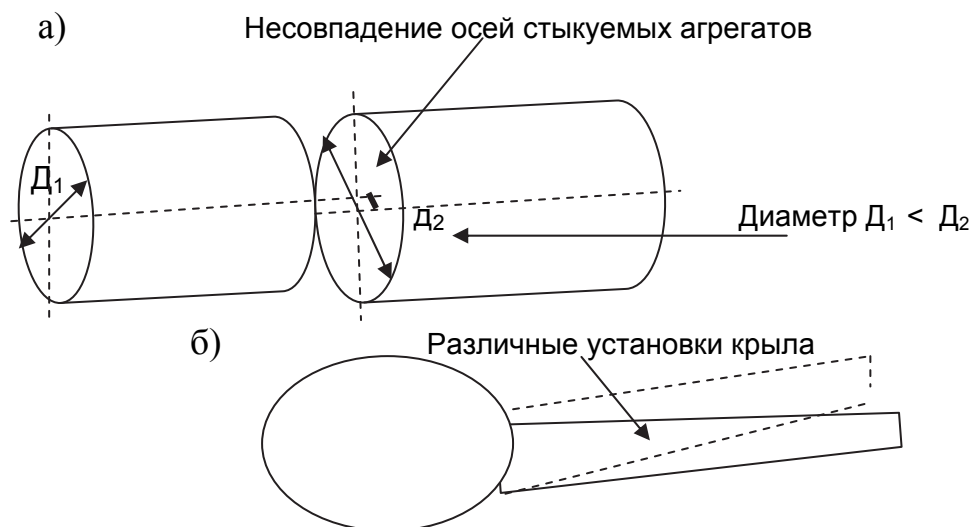


Рис. 1.13. Отклонения размеров при стыковке отсеков (а) и возможные отклонения при установке крыла относительно фюзеляжа (б)

При этом используют нивелировочные схемы, в которых содержатся таблицы с указанием координат всех реперных точек планера (реперные точки в виде отверстий наносят на поверхность агрегата с помощью нивелиров или лазерных систем и маркируют красными кругами диаметром 30 мм).

### 1.7. Характер соединений элементов планера

В планере самолета выполняются различные соединения для клепаных узлов, секций, отсеков и агрегатов между собой.

Конструктивные решения таких соединений направлены на обеспечение точности взаимных положений элементов относительно друг друга, требуемых перемычек в сопрягаемых элементах, минимальных зазоров между сопрягаемыми элементами, обеспечение гладкости сопряжений между конструктивными элементами.

Таблица 1.1

Характер соединений элементов конструкций самолета

Характерные стыки, сопряжения и разъемы	Эскиз соединений	Рекомендации по выполнению сопряжения и влиянию его на точность планера
1	2	3
Соединение листов обшивки через накладку или элемент каркаса (пояс нервюры, лонжерона, шпангоута, стрингера)		Необходимы точная установка элементов, пригонка торцов листов обшивки

Продолжение табл. 1.1

1	2	3
Соединение листов обшивки внахлест с креплением к элементам каркаса		Необходимо точное положение элементов каркаса для обеспечения перемычек
Соединение листов обшивки с силовыми элементами каркаса: заподлицо или внахлест		Необходимы точное изготовление силовых элементов каркаса и пригонка торцов листов обшивки
Соединение листов обшивок внахлест с образованием подсечки		Точность зависит от метода сборки, возможна пригонка торца обшивки, не имеющей подсечки

Возможны телескопические соединения, встык, заподлицо и внахлест, с подсечкой и без нее.

В табл. 1.1 представлены схемы типовых сопряжений по стыкам и разъемам, даны рекомендации по изготовлению сопряжения.

## 1.8. Способы базирования при сборке

### 1.8.1. Сборочная база и её свойства

При сборке узла или агрегата планера каждый элемент должен занимать относительно других элементов строго определенное положение. Для этого каждому элементу необходимо обеспечить *определенность его базирования*. Определенность базирования достигается за счет сборочной базы.

**Сборочная база (СБ)** – это поверхность, линия или точки на базовом элементе, относительно которых задают точное положение поверхностей, линий или точек базируемого объекта.

Сборочная база должна обладать следующими свойствами:

- 1) рабочая поверхность базового элемента должна быть изготовлена с высокой степенью точности;
- 2) элементы с базовой поверхностью должны иметь фиксаторы для фиксации собираемых деталей или узлов;
- 3) сборочная база должна быть жесткой, мощной, чтобы не деформироваться, не перемещаться под действием сил, неизбежных при проведении сборочных процессов.

Например, ложемент рубильника стапеля является по этим признакам сборочной базой (рис. 1.14, а). Рубильник – жесткий элемент, имеет отверстия с втулками, в которые устанавливают фиксаторы для фиксации

вания элементов сборочного узла, а ложемент рубильника изготовлен с высокой точностью.

Следует отметить, что при сборке нежесткие детали не могут быть базовыми, так как под действием нагрузок, ударов, вибраций базированный элемент, сопряженный с базовым, может сместиться, переместиться, прогнуться относительно требуемого положения. Но если нежесткий элемент установить на ложемент сборочного приспособления, то жесткость элемента возрастет настолько, что его поверхность сможет быть установочной базой.

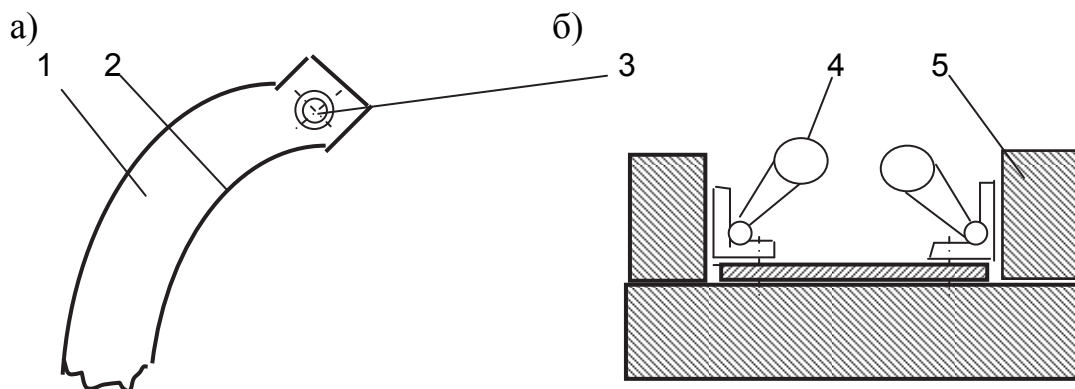


Рис. 1.14. Базовые и фиксирующие элементы при сборке нервюры:

1 – рубильник стапеля; 2 – ложемент; 3 – втулка; 4 – пружинный фиксатор; 5 – упор приспособления с базовой поверхностью

Например, на рис. 1.14, б показано, что сборочной установочной базой для стенки нервюры является поверхность ложемента приспособления, для полочек нервюры – стенка нервюры и упоры сборочного приспособления.

### **1.8.2. Способы базирования, применяемые при сборке**

При сборке отдельных узлов, секций, отсеков, панелей и агрегатов планера самолета применяют различные способы базирования. Каждый способ базирования отличается точностью получения сборного внешнего контура.

Разделяют способы базирования на две группы:

- 1) базирование при сборке узлов;
- 2) базирование при сборке агрегатов.

При **узловой сборке** используют следующие способы базирования:

- по месту детали в конструктивном контуре изделия;
- по сборочным отверстиям (СО) в элементах изделия и оснастке;
- по разметке – вручную, по шаблонам, фотоконтактным способом;
- по координатно-фиксирующим отверстиям;
- в сборочном приспособлении.

При узловой сборке самую высокую точность сборки дает базирование по элементам сборочного приспособления.

При **агрегатной сборке** основными способами базирования являются:

- базирование по внешней поверхности обшивки (ВПО);
- по поверхности каркаса;
- базирование по внутренней поверхности обшивки;
- по СО и базовым (БО) отверстиям стапеля.

### **1.8.3. Способы базирования при узловой сборке**

При узловой сборке для обеспечения требуемой точности сборки узла достаточно широко применяют пять способов базирования.

#### **Базирование по месту детали в конструктивном контуре**

Базирование по месту детали в конструктивном контуре (МДКК) применяется для сборки узлов, собираемых из жестких деталей, сохраняющих под действием собственного веса свои формы и размеры. Такие детали (краны, ролики, стойки шасси, цилиндры, редукторы, клапаны) изготавливают механической обработкой, литьем, штамповкой. Объем подобного типа сборочных работ составляет 5 – 7 % от общей трудоемкости сборочных работ. Точность сборки – высокая.

Сборка проводится на сборочных верстаках, с помощью универсальных слесарно-сборочных и измерительных инструментов. Специальных сборочных приспособлений изготавливать не надо. Детали на сборку поступают в основном полностью взаимозаменяемыми.

Принцип базирования по МДКК изделия состоит в том, что одну из деталей узла выбирают базовой и к ней в определенной последовательности присоединяют базированные детали, входящие в узел.

Если узел сложный, то входящие в узел детали разделяют на несколько сборочных групп. В каждой группе должна быть своя базовая деталь, но основная базовая деталь для всей сборки – одна.

На рис. 1.15 представлен силовой цилиндр и последовательность присоединения к основной базовой детали (штоку) других базированных деталей.

Основной базовой деталью является шток 1, базовыми деталями в своих сборочных группах являются крышка 2 и корпус 3 цилиндра. Основная сборочная группа: шток 1 – крышка 2 – поршень 4 – шайба 5 – гайка 6. Вторая сборочная группа: крышка 2 – штуцер 8 – шланг 9. Третья сборочная группа: корпус цилиндра 3 – штуцер 7. Вначале собирают вторую и третью сборочную группу, затем проводят основную сборку.

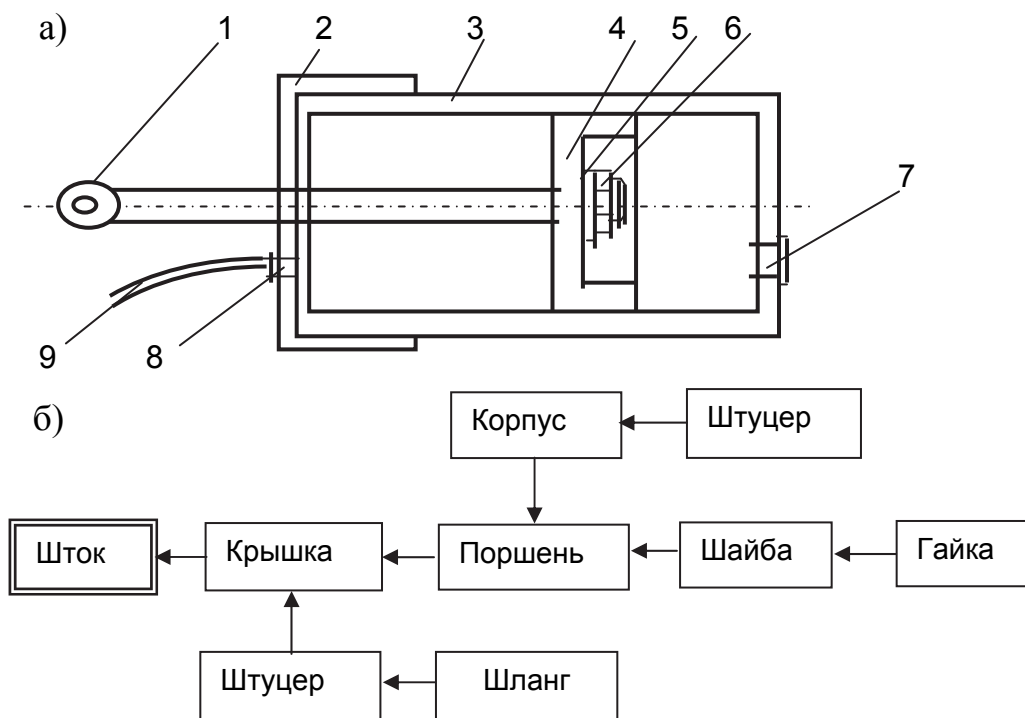


Рис. 1.15. Принципиальная схема силового цилиндра (а) и схема его сборки (б)

Иногда базирование по месту детали в конструктивном контуре детали применяют при отсутствии направляющей или опорной базы, тогда базлируемые детали ориентируются относительно кромок, вырезов, подсечек базовой детали.

### Базирование по разметке

Базирование по разметке применяется для сборки узлов, имеющих основную базовую деталь, на поверхности которой можно нанести линии контуров базлируемых деталей, точки – отверстия для соединения с другими деталями.

Фиксация базлируемых деталей на базовой детали производится типовыми способами с помощью струбцин, фиксаторов, технологических болтов. Разметку контура, базовых линий и точек проводят с помощью универсального инструмента (мерительных линеек, штангенциркуля, угольников, кернов, карандашей); по шаблонам и эталонам деталей; фото-контактным способом.

Принцип базирования фотоконтактной разметки состоит в том, что в плазово-шаблонном или производственном цехе на специальной пленке (*винипрозе* или *астролоне*) проводят разметку контуров основной базовой детали, контуров сопрягаемых базлируемых деталей, центров отверстий под заклепки и болты (рис. 1.16).

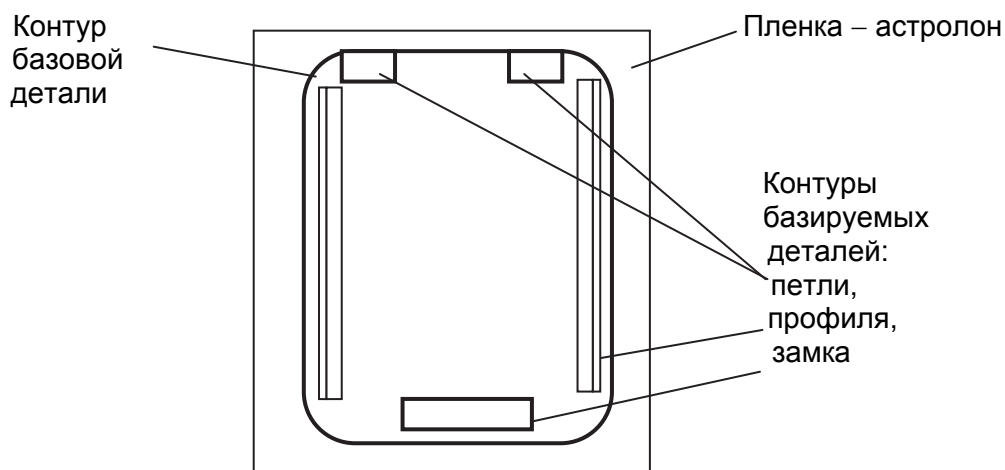


Рис. 1.16. Иллюстрация принципа фотоконтактной разметки для лючка самолета

Затем поверхность базовой детали смазывается фотоэмульсией, на нее накладывается пленка – астролон, все фиксируется и сборка подается в станок фотоконтактной печати. После фотоконтактной печати на базовой детали проявляются все виды разметки для базовой и базирuемых деталей. По разметке устанавливают базирuемые детали на базовую, фиксируют их с помощью струбцин, фиксаторов, проводят сверление отверстий и соединение деталей клепкой или болтами.

Обеспечить взаимозаменяемость собираемого таким образом узла сложно, поэтому по разметке собирают эксплуатационные лючки, различные неотчетственные узлы. Доработку, подгонку узла в окончательные размеры проводят по месту установки узла.

Точность такой сборки невелика – в пределах 5...7 мм.

### **Базирование по сборочным отверстиям**

Сборку с базированием по сборочным отверстиям ведут при сборке узлов из нежестких деталей – обшивок, стенок, стрингеров, полочек нервюр, то есть деталей, прогибающихся под действием собственного веса.

Детали на сборку поступают обработанными в окончательные размеры, доводка и подгонка деталей не допускается (рис. 1.17). На всех соединяемых деталях с помощью шаблонов до сборки просверлены СО. Также по шаблонам до сборки в наиболее жесткой из соединяемых деталей просверливают направляющие отверстия (НО).

Сборочные отверстия просверливаются до рабочего диаметра, чтобы в них сразу можно ставить заклепку и вести клепку. Направляющие отверстия просверливают до вспомогательного диаметра 2,1 мм или 2,7 мм, затем в процессе сборки НО рассверливают до рабочего диаметра, ставят заклепку и клепают.

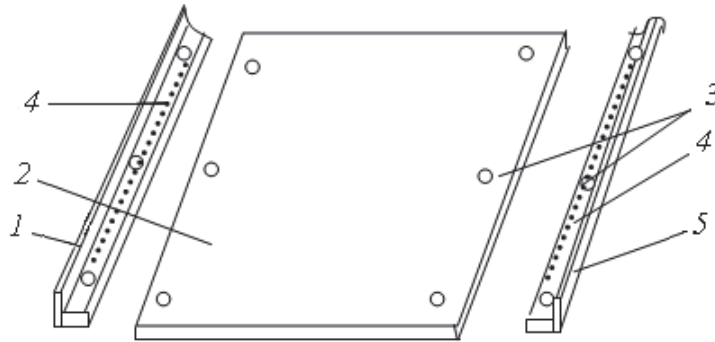


Рис. 1.17. Сущность базирования по сборочным отверстиям:  
1, 5 – профили; 2 – стенка; 3 – сборочные отверстия; 4 – направляющие отверстия

Для исключения провисания деталей под действием собственного веса и придания им необходимой жесткости, для обеспечения плотного прилегания соединяемых деталей рекомендуют располагать СО на расстоянии 250...300 мм друг от друга по длине деталей.

Принцип базирования по СО состоит из нескольких этапов:

- 1) соединяемые детали совмещают по сборочным отверстиям и для их фиксации в отверстия ставят технологические болты или фиксаторы;
- 2) через направляющие отверстия в одной детали совместно рассверливают до рабочего диаметра другие отверстия в присоединяемой нежесткой детали (например, в профиле есть НО, в стенке – нет; поэтому проводят совместное сверление);
- 3) затем в отверстия ставят заклепки и проводят клепку в местах НО;
- 4) фиксаторы и технологические болты удаляют из СО, в отверстия ставят заклепки и проводят клепку.

**Сборочной базой являются сборочные отверстия, просверленные в обеих деталях.**

При сборке узлов по СО используют простые сборочные приспособления либо рабочие столы.

Точность замыкающего размера  $\Delta_{зам}$ , характеризующего точность внешнего сборного контура, при сборке по СО определится уравнением погрешности (рис. 1.18):

$$\Delta_{зам} = \Delta_{A1} + \Delta_{A2} + \Delta_{A3} + \Delta_{a_{12}} + \Delta_{a_{23}} + \Delta_{A_{ш}} + \Delta_{c_1},$$

где  $\Delta_{зам}$  – погрешность замыкающего размера узла;  $\Delta_{A1}, \Delta_{A2}$  – погрешности переноса размера детали с шаблона;  $\Delta_{a_{12}}, \Delta_{a_{23}}$  – погрешности клепки и сверления отверстий при соединении деталей заклепками;  $\Delta_{A_{ш}}$  – погреш-



ность размера при изготовлении шаблона;  $\Delta c_1$  – погрешность, учитывающая температурные деформации.

При сверлении отверстий возможны следующие погрешности: перекося сверла, овальность полученного отверстия, эксцентриситет между центром отверстия реального и теоретического.

Таким образом, если погрешность каждого из составляющих звеньев будет до 0,2 мм, то суммарная погрешность замыкающего размера составит не менее 1,5 мм.

Из этого следует, что сборка по СО может обеспечить высокую точность только при повышенных требованиях к точности изготавливаемых деталей и к точности расположения на них сборочных отверстий.

Повысить точность сборочного, замыкающего размера при базировании по СО можно, применяя правило компенсации.

Для компенсации погрешностей переноса размеров с шаблонов на детали используют несложное сборочное приспособление, в котором с высокой точностью выполнен один замыкающий размер  $A_{зам}$ , равный размеру приспособления  $A_{пр}$ , то есть  $A_{зам} = A_{пр}$  (рис. 1.19).

В этом случае погрешность замыкающего звена  $A_{зам}$  определится только погрешностью приспособления  $A_{пр}$  и погрешностью соединения деталей заклепками  $\Delta a_{12}$  и  $\Delta a_{23}$ . Погрешности размеров деталей не участвуют в формировании сборочного размера  $A_{зам}$ , они компенсируются (поглощаются) размером  $A_{пр}$ .

Эта особенность дает важное следствие: **из деталей, изготовленных с невысокой точностью, собирают узел с точным замыкающим размером  $A_{зам}$ .**

Поле погрешностей размеров отдельных деталей не оказывает влияния на сборочный замыкающий размер  $A_{зам}$ . Влияние оказывает погрешность установки базовых элементов приспособления и точность клепки. При применении правила компенсаций поле погрешностей сборочного замыкающего размера не превышает 0,6 мм.

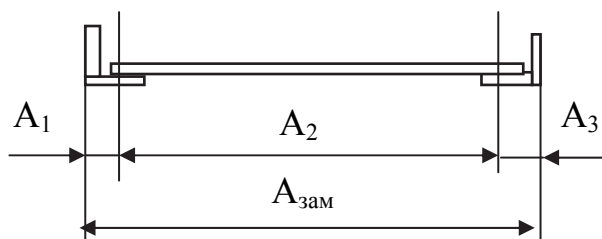


Рис. 1.18. Сборочная размерная цепь нервюры

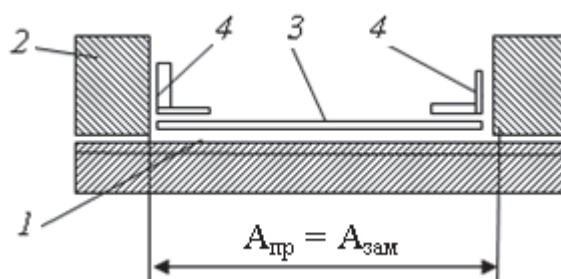


Рис. 1.19. Принцип базирования по правилу компенсации:  
1 – ложемент; 2 – упор; 3 – стенка;  
4 – профиль

## Базирование по координатно-фиксирующим отверстиям

Способ базирования по координатно-фиксирующим отверстиям (КФО) применяют, если в узле нельзя выделить основную базовую деталь, относительно которой можно забазировать остальные детали.

Пример – сборка шпангоута, состоящего из отдельных секций. В этом случае общей сборочной базой будут посверленные КФО в деталях и в дополнение к ним просверленные КФО в координатной плите (рис. 1.20). На горизонтальной поверхности плоской координатной плиты на равном расстоянии друг от друга просверлены КФО. Шаг отверстий выбирают 50 мм или кратным 50 мм – 100, 150, 200 или 250 мм в зависимости от габаритов собираемого изделия.

В процессе подготовки сборочного производства предварительно проводят увязку (согласование расположения отверстий) КФО в деталях с КФО в координатной плите. На детали выполняют, как правило, два КФО, добиваясь совмещения с КФО на координатной плите.

Такое совмещение КФО обеспечивает:

- точное положение детали в соответствии с теоретическим контуром изделия (точность  $+0,1$  мм),
- фиксацию отдельных деталей.

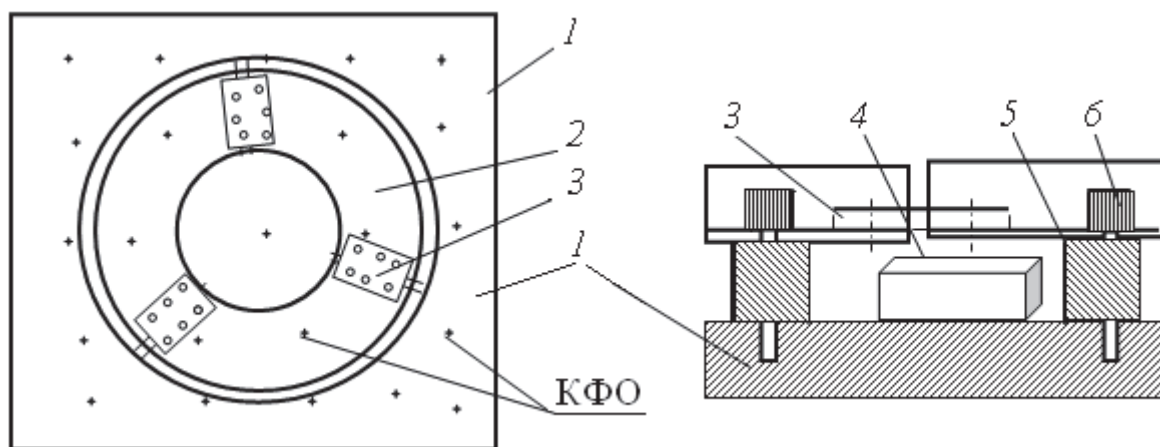


Рис. 1.20. Принцип базирования по КФО:

- 1 – координатная плита; 2 – секция шпангоута; 3 – накладка;  
4 – поддержка; 5 – подкладные плитки; 6 – фиксаторы

Собираемый нормальный шпангоут состоит из трех секций 2, трех накладок 3, соединение идет заклепками. Соединение идет с применением клепального пневмомолотка и поддержки 4. Чтобы обеспечить доступ в зону работ при клепке, используют подкладные плитки 5. На подкладные плитки устанавливают секции шпангоута. Для фиксации секций относительно друг друга в совмещенные отверстия КФО (в детали и в координатной плите) вставляют фиксаторы – штыри 6.

Затем на стыки секций устанавливают накладки и по направляющим отверстиям в накладках рассверливают совместно отверстия до рабочего диаметра и в секциях и накладках. Затем в отверстия ставят заклепки и проводят клепку.

Основной особенностью базирования деталей по КФО является то, что КФО не выполняют рабочих функций, они создаются специально для технологических целей (для базирования и сборки). Точность сборки по КФО – в пределах 0,6...1,0 мм.

### **Базирование в сборочном приспособлении**

При сборке узла в сборочном приспособлении сборочной базой для деталей, выходящих на внешний контур узла, являются базовые поверхности сборочного приспособления. Определенность базирования и фиксация элементов полностью создается за счет базовых и фиксирующих элементов сборочного приспособления.

На рис. 1.21, *а* и 1.21, *б* представлен сборочный лонжерон и сборочное приспособление для сборки лонжерона.

Сборочное приспособление имеет мощный жесткий каркас, систему упоров и рубильников, закрепленных на балках каркаса, а также специальные фиксаторы.

На сборку подают секции стенки лонжерона, стойки жесткости, накладки для соединения стенок, пояса лонжерона, фитинги поясов. Накладки и стойки поступают на сборку с просверленными СО и НО.

Сборка в сборочном приспособлении позволяет получать самые точные по контуру сборочные узлы, точность сборки 0,4...0,5 мм.

Положение рубильников в стапеле задается относительно друг друга с помощью эталонной оснастки и с использованием инструментального станда, лазерных устройств.

На каркасе стапеля могут крепиться сверлильно-зенковальные устройства, механизующие процесс клепки *б*. Одна из мастер-плит стапеля снабжена устройством перемещения для компенсации температурных погрешностей *в*. Контур рубильника повторяет внешний обвод лонжерона. На рубильниках установлены упоры *г*, которые фиксируют лонжерон по длине, не давая ему провиснуть.

В начале сборки устанавливают наиболее жесткие элементы лонжерона – верхний и нижний пояса, которые поступают в сборе с фитингами (узлами навески). Базирование поясов идет по калибрам узлов навески лонжеронов, установленных на мастер-плите стапеля. Полки поясов лонжеронов имеют сборочные и направляющие отверстия для обеспечения базирования стенок. Затем на сборку поступают стенки. Стенки базируются по СО в полках лонжерона. Затем по НО рассверливаются совместно отверстия и ставятся заклепки.

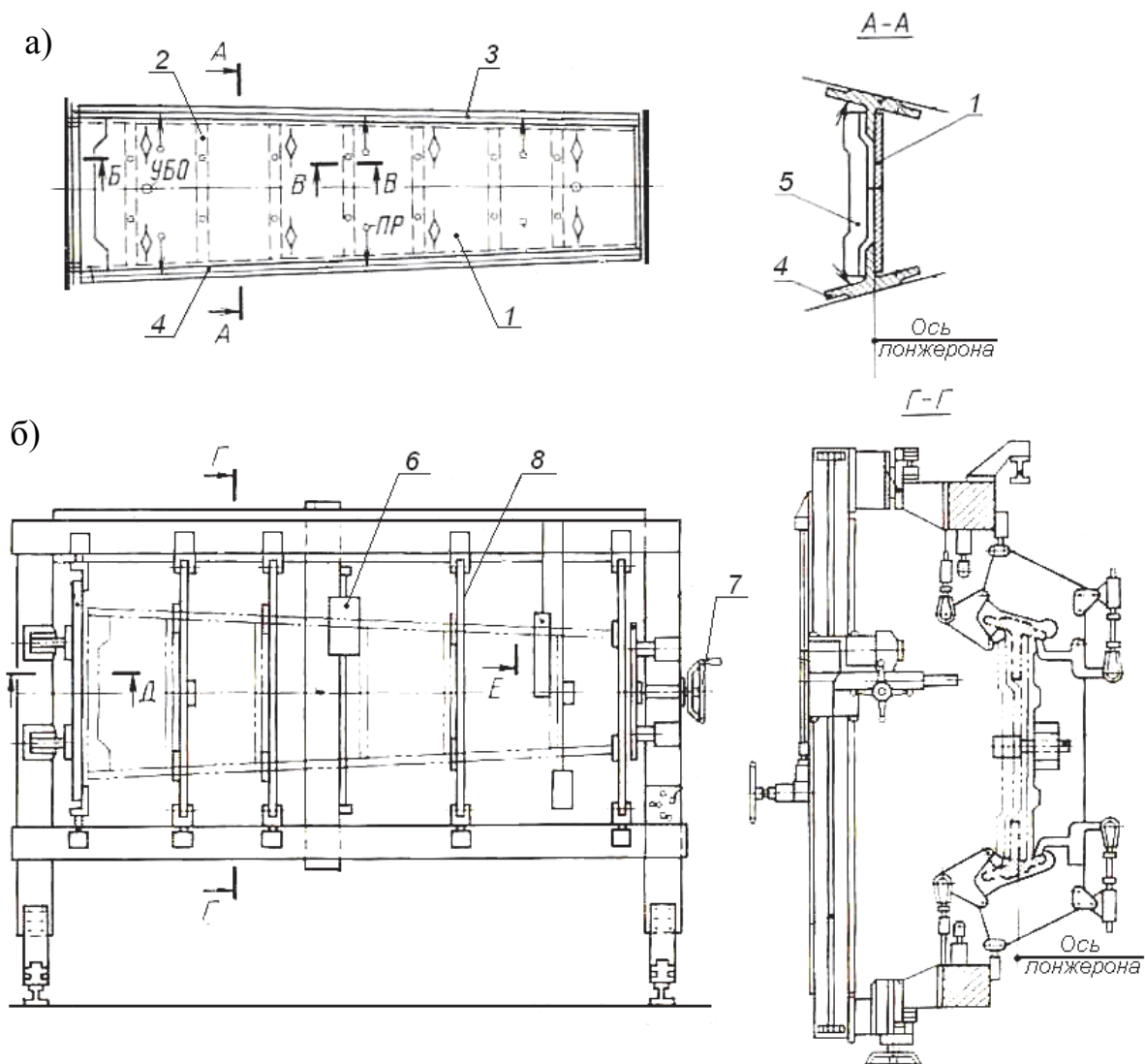


Рис. 1.21. Элементы лонжерона и сборочного приспособления:

- 1 – стенка; 2 – стойка; 3 – верхний пояс лонжерона;  
4 – нижний пояс лонжерона; 5 – рубильник

Сборку в сборочном приспособлении ведут для ответственных узлов (лонжеронов и нервюр), так как за счет проектирования, увязки и изготовления сборочного приспособления этот вид сборки самый дорогой.

#### 1.8.4. Способы базирования при агрегатной сборке

Сборка агрегатов планера самолета идет в крупных сборочных приспособлениях – стапелях. Сборка агрегатов, как правило, идет из большого количества узлов и небольшого количества деталей. Для обеспечения требуемой точности сборки агрегата используют широко три метода базирования.

## Базирование по внешней поверхности обшивки

Базирование по внешней поверхности обшивки используют при сборке таких агрегатов, как крыло, фюзеляж, отсеки фюзеляжа, кессон.

Точность сборки внешнего сборного контура агрегата при базировании по внешней поверхности обшивки составляет 0,4...0,5 мм.

Этот способ базирования относится к прямому методу и находит широкое применение при сборке агрегатов и отсеков с толстой обшивкой более 1 мм.

Сборочной базой при этом способе базирования являются рабочие поверхности рубильников стапеля, которые называют ложементами и которые копируют теоретический контур внешней обшивки агрегата или отсека (рис. 1.22).

Принцип базирования по внешней поверхности обшивки состоит в следующем:

- рубильники стапеля выставляют с одной стороны агрегата в рабочее закрытое положение;
- на ложементы рубильников, как на сборочную базу, устанавливают и фиксируют панель, при этом внешняя поверхность обшивки панели прижимается к ложементам рубильника;

- затем идет установка других элементов и клепка.

При этом погрешность сборки определяется точностью изготовления ложемента рубильника и точностью установки рубильника в стапеле. Никакие другие погрешности (погрешности обшивки, деформирования элементов, температурные погрешности) не будут влиять на точность сборки внешнего контура.

## Сборка с базированием по поверхности каркаса

Сборку с базированием по **поверхности каркаса** ведут, как правило, в двух сборочных приспособлениях: сборку начинают в первом стапеле с каркасными рубильниками, ложемент которых копирует поверхность каркаса, затем собранный каркас передают во второй стапель, где установлены нормальные рубильники, имеющие ложементы, копирующие внешнюю поверхность обшивки.

Но иногда в одном стапеле используют универсальные рубильники, которые имеют съемные накладки, равные толщине обшивки и крепящиеся на рабочем контуре рубильника (рис. 1.23).

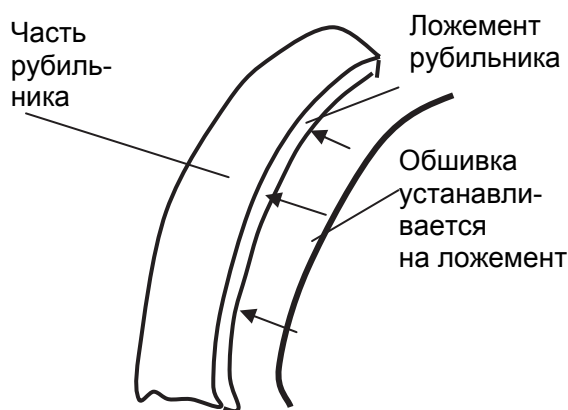


Рис. 1.22. Ложемент рубильника как сборочная база

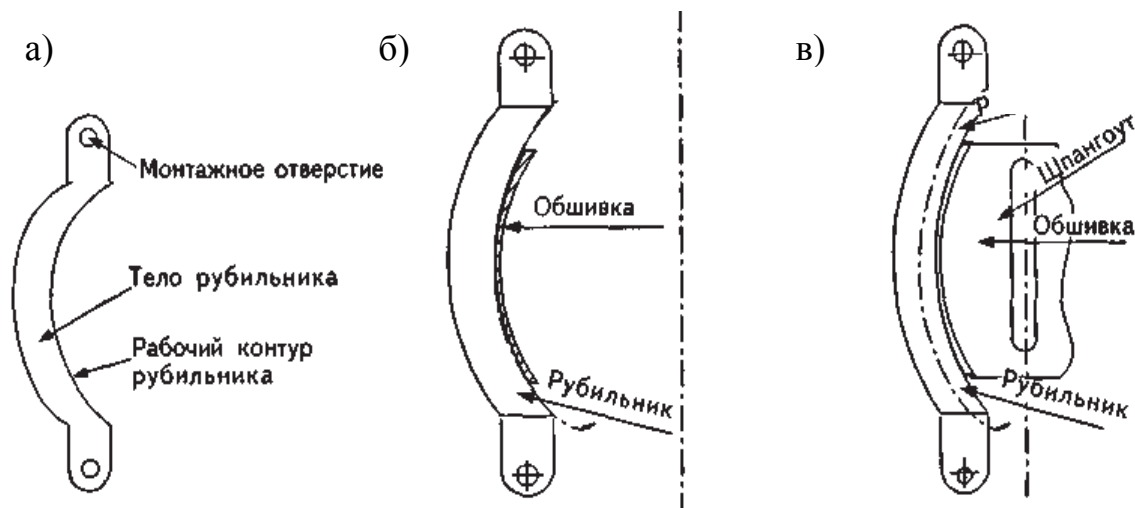


Рис. 1.23. Типы рубильников: а – конструктивная схема рубильника; б – обшивочный (нормальный) рубильник; в – каркасный рубильник

Во втором стапеле на каркас устанавливают обшивку, которая прижимается рубильником, т.е. в этом случае рубильник просто фиксирует обшивку на каркасе (рис.1.24).

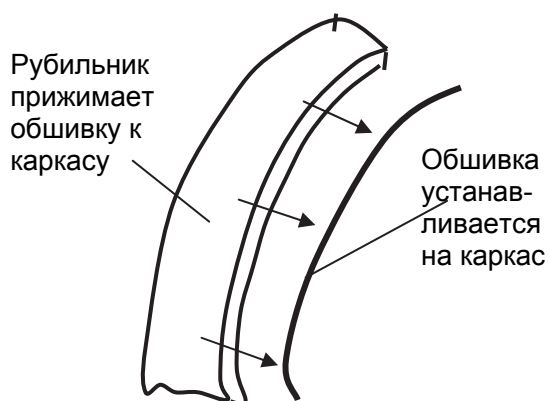


Рис. 1.24. Принцип базирования по поверхности каркаса

Точность сборки при таком способе базирования лежит в пределах 2,0...2,5 мм и зависит от точности сборки каркаса, от погрешностей монтажа сборочных баз приспособлений, от погрешностей толщины обшивки, от установки соединительных элементов (заклепок, болтов).

#### Базирование по базовым отверстиям стапеля

Базирование по сборочным и базовым отверстиям (БО) стапеля применяется для сборки крупногабаритных агрегатов и самолетов. Изготовление стапелей для сборки крупногабаритных агрегатов связано с большими затратами материала на стапель, сложностью монтажа стапеля и габаритами рубильников.

Базирование по БО стапеля позволяет сэкономить материал, создавая рубильник, например, не целиком, а участками, без ущерба точности сборки. При этом форма базовых элементов стапеля (например: упоров стапеля, базовых пластин, держателей, базовых отверстий БО и СО) практически не зависит от формы элементов изделия. В этом случае стапель получают без рубильников, «упрощенной» конструкции (рис. 1.25).

Сборочными базами при таком способе базирования являются БО в базовых пластинах стапеля и СО в базиремых элементах изделия.

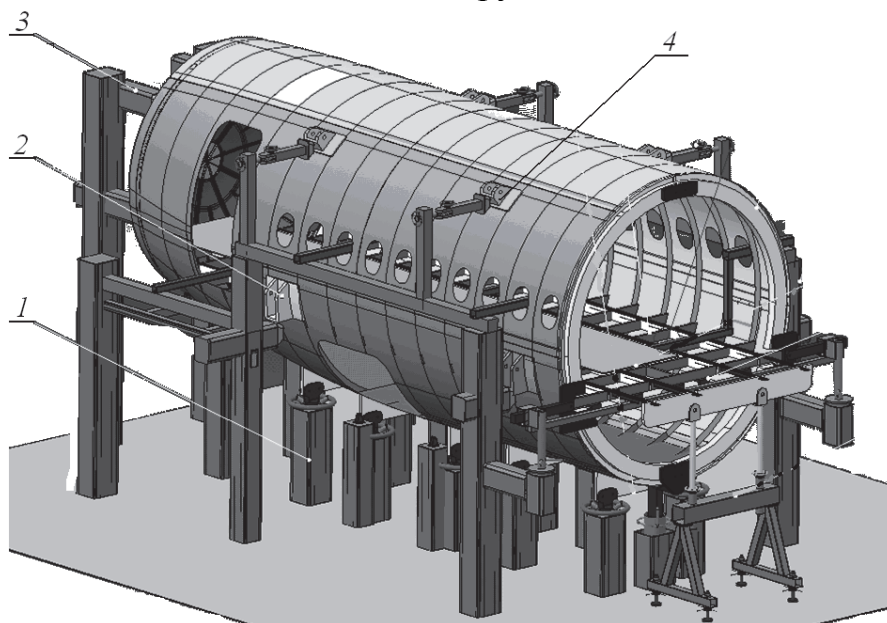


Рис. 1.25. Стапель упрощенной конструкции:  
1 – стойки; 2 – такелажный узел; 3 – кронштейны;  
4 – базовые пластины с БО

Точность сборки при таком способе базирования лежит в пределах 0,6...1,0 мм.

### **1.8.5. Способы базирования при стыковке отсеков и агрегатов**

Процесс стыковки секций и агрегатов отличается от сборки. В этом случае имеют дело с уже готовыми агрегатами и отсеками большой массы, которые должны быть состыкованы между собой с определенной точностью, задаваемой техническими условиями.

Вопросам стыковки агрегатов уделяется особое внимание, обеспечить взаимозаменяемость по стыкам и разъемам агрегатов – достаточно сложная задача.

При стыковке возможны следующие отклонения: несовпадение осей стыкуемых агрегатов (см. рис. 1.13, а); разность диаметров стыкуемых отсеков; непараллельность плоскостей стыка стыкуемых агрегатов и др.

Процесс стыковки разделяют на несколько этапов.

1) Перемещение агрегатов к месту стыковки. Для этой цели используют либо цеховые подъемно-транспортные средства (кран-балки, мостовые краны), либо специальные тележки.

2) Предварительная ориентация стыкуемых агрегатов относительно друг друга. Цель этого этапа – выставить базовый агрегат в линию полета (то есть ориентировать относительно вертикальной и горизонтальной плоскостей), а базируемый агрегат – относительно базового. Применяют нивелиры, теодолиты, лазерные устройства.

3) Сопряжение контуров стыка стыкуемых агрегатов. При этом стыкуемый агрегат перемещается в направлении базового агрегата вплоть до совмещения сопрягаемых поверхностей стыков обоих агрегатов. В этом положении стыкуемые агрегаты фиксируются.

4) Установка соединительных элементов по контуру стыка (стыковых болтов, винтов, пальцев).

При стыковке используют два способа базирования:

1) **по контуру стыка** или **разъема**. При этом базовый контур стыка должен быть выполнен с высокой точностью и обладать достаточной жесткостью. В этом случае стыковочная оснастка не нужна или ее делают упрощенной;

2) **по базовым элементам стыковочной оснастки**. В этом случае стыковочная оснастка обязательна, так как жесткость базового контура не обеспечивает определенность базирования, или к стыку предъявлены повышенные требования точности.

Отсеки и агрегаты на стыковку поступают полностью взаимозаменяемыми и частично взаимозаменяемыми.

При полностью взаимозаменяемых агрегатах процесс стыковки сводится только к указанным выше этапам стыковки.

Для обеспечения взаимозаменяемости по стыкам невзаимозаменяемых агрегатов необходимо вести подгоночные и доводочные работы по плоскостям стыка и стыковочным отверстиям, поэтому в комплекс стыковочной и разделочной оснастки входят фрезерные и расточные станки. Трудоемкость такого процесса стыковки больше, чем при стыковке взаимозаменяемых агрегатов.

Рассмотрим стыковку отсеков фюзеляжа Ф-2, Ф-3, Ф-4 (рис. 1.26). Отсеки на сборку поступают в окончательно собранном виде, взаимозаменяемыми по внешнему контуру, но стыки могут быть полностью взаимозаменяемыми (обработаны в окончательные размеры) или частично взаимозаменяемыми (проводят на стыковке подгоночные и доводочные работы, рассверливают совместно отверстия стыкуемых агрегатов).

Базовым отсеком является отсек Ф-3, поэтому в нем по периметру стыка просверлены сборочные (их называют еще установочными, базовыми) отверстия. Ответные сборочные отверстия и направляющие отверстия просверлены в базируемых отсеках.



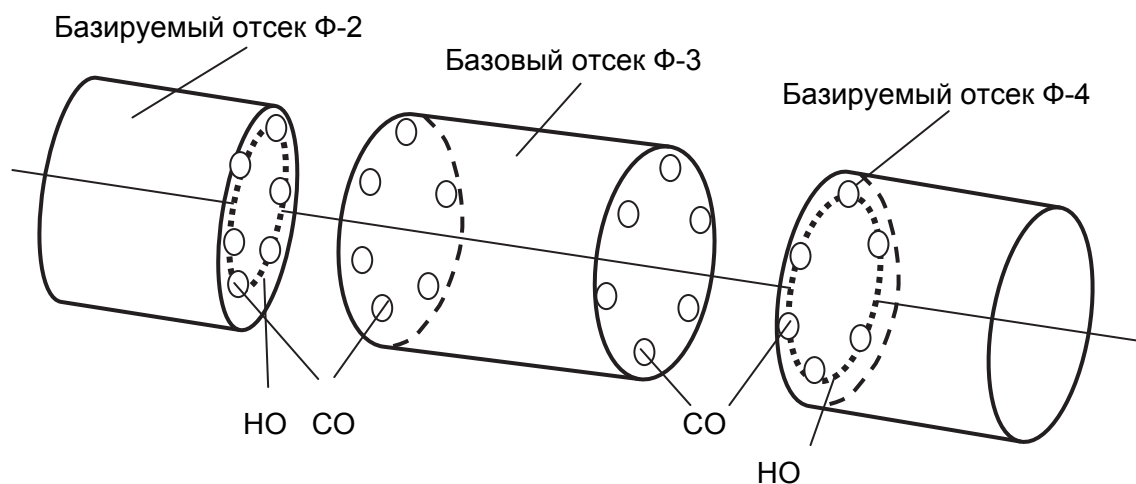


Рис. 1.26. Схема стыковки отсеков фюзеляжа

Точность стыковки зависит от принятого способа базирования и лежит в пределах 0,5...1,8 мм.

В процессе стыковки применяют подгоночные и доводочные работы. Но необходимо помнить, что применение подгоночных и доводочных работ удлиняет цикл сборки. Поэтому часто в цеха агрегатной и общей сборки на стыковку поступают технологически завершенные и взаимозаменяемые по плоскостям стыка отсеки, чтобы обеспечить короткий цикл сборки.

Но не следует забывать и об экономической целесообразности пригоночных работ: пригонкой можно получить заданную точность изделия при небольшом увеличении трудоемкости, не используя дорогостоящее оборудование. Кроме того, пригонка деталей по месту сборки иногда технически необходима, так как является единственным способом достижения качественного сопряжения в многозвенной размерной сборочной цепи.

## 1.9. Обеспечение взаимозаменяемости в самолетостроении

### 1.9.1. Общие сведения

**Взаимозаменяемость** – свойство конструкции в пределах заданных допусков полностью или частично соответствовать теоретическому аналогу. Различают *геометрическую* и *функциональную* взаимозаменяемость.

Под **геометрической** взаимозаменяемостью понимают идентичность деталей, узлов и агрегатов по геометрическим размерам и форме. Когда детали изготовлены в пределах заданных допусков, сборка их в узлы и агрегаты не вызывает затруднений.

**Функциональная** взаимозаменяемость подразумевает идентичность деталей, узлов и агрегатов по функциональным и физическим признакам (весу, центровке, аэродинамическим характеристикам, рабочим функциям).

При сборке самолета основное внимание уделяется обеспечению **геометрической взаимозаменяемости**, которая может быть:

- **полной**, если установка и соединение деталей, секций, агрегатов и коммуникаций осуществляется без подбора, подгонки, обработки их в процессе сборки и стыковки. Такую взаимозаменяемость используют при сборке жестких узлов типа цилиндров шасси, механизмов управления самолетом;

- **групповой**, если установка и соединение деталей, узлов, секций и агрегатов осуществляется сортированием их на группы или подбором для достижения полной взаимозаменяемости;

- **неполной (ограниченной)**, если установка и соединение деталей, узлов, секций, агрегатов и коммуникаций осуществляется с дополнительной обработкой: подгонкой, припиловкой, совместным развертыванием в процессе сборки и стыковки.

При сборке по принципу неполной взаимозаменяемости широко используют специальные **компенсаторы**, которые в процессе сборки поглощают отклонения размеров составляющих деталей-звеньев, чтобы получить высокой точности замыкающий сборочный размер.

**Применение** компенсаторов позволяет снизить требования к точности изготовления отдельных деталей, но при этом повысить точность замыкающего размера (точность сборного контура), не прибегая к большому объему ручных подгоночных и доводочных работ.

В самолетостроении применяют несколько видов компенсаторов:

1) **компенсаторы – прокладки** (рис. 1.27, а). Их вводят между каркасом и обшивкой, добиваясь плавности обвода обшивки. Толщина прокладок может быть разной, ее можно использовать, если это предусмотрено технологическим процессом сборки;

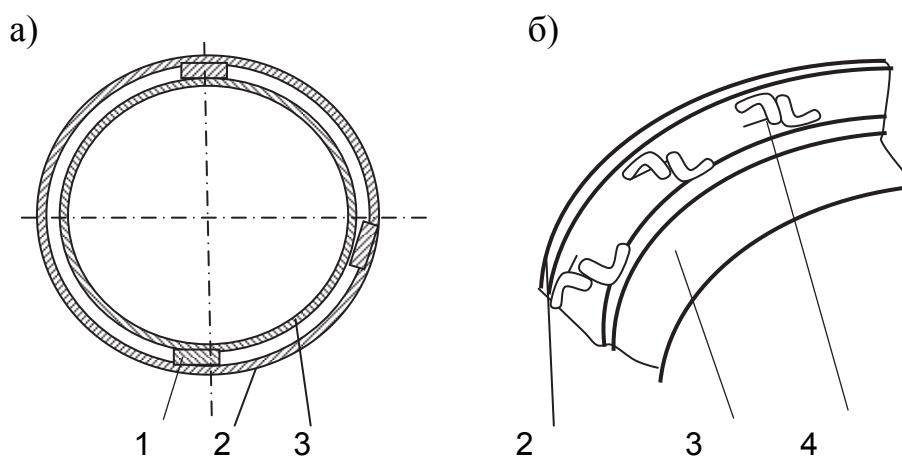


Рис. 1.27. Типы сборочных компенсаторов:  
1 – компенсатор-прокладка; 2 – обшивка; 3 – шпангоут;  
4 – компенсатор-деталь

2) компенсаторы – детали, выполняемые в виде уголков и профилей различных сечений (рис 1.27, б). Они вводятся между каркасом и обшивкой, чтобы скомпенсировать неточности размеров диаметров обшивки и шпангоута при их сопряжении и получить точный обвод контура;

3) припусковые компенсаторы, основанные на оставлении специальных припусков на поверхностях наиболее жестких деталей. При сборке такие припусковые компенсаторы должны обеспечить точность замыкающего размера за счет снятия части припуска припиловкой во время выполнения сборочных работ или после предварительной сборки и разборки.

В самолетостроении широко применяют **неполную взаимозаменяемость**, она позволяет при относительно неточном изготовлении входящих в узел или агрегат деталей получить точный внешний контур сборочного узла (или агрегата).

Учитывая специфику самолетостроения, когда необходимо собрать жесткую конструкцию планера из нежестких и сложных по форме деталей и узлов, обеспечение полной взаимозаменяемости для всех деталей экономически не оправданно и увеличивает трудоемкость сборочных работ.

Чтобы обеспечить взаимозаменяемость одинаковых агрегатов и узлов при сборке, необходимо использовать специальные сборочные и контрольные приспособления (или оснастку).

К **контрольной оснастке** относят эталоны, контрэталоны, макеты и слепки поверхностей, шаблоны контроля контура, инструментальные стенды, плаз-кондукторы, монтажные эталоны, контрольно-измерительные машины. **Эта оснастка предназначена только для контроля** размеров и форм базовых поверхностей элементов сборочных приспособлений, размеров и форм макетов, слепков и эталонов поверхности изделия. С помощью контрольной оснастки проверяют шаблоны контроля контура.

**Технологическую** оснастку подразделяют:

- на сборочные приспособления и стапели для сборки;
- стыковочные и разделочные стенды для доработки стыков и выполнения операций стыковки;
- транспортно-подъемные средства для перемещения агрегатов к месту сборки и стыковки.

Для согласования (увязки) размеров сборных контуров изделия и базовых элементов сборочных приспособлений в самолетостроении применяют различные **первоисточники**:

- **чертежи** – увязка геометрических размеров обеспечивается на основе стандартной системы допусков и посадок;
- **плазы** – увязка геометрических параметров производится на основе графического вычерчивания сборочной единицы на плоскости. К этим первоисточникам увязки относятся также шаблоны контрольно-контурные

(ШКК) и отпечатки контрольные (ОК), выполняющие функции конструктивных плазов;

- **эталоны** – увязка геометрических параметров обеспечивается на основе контактного копирования поверхности эталона или его отдельных частей;

- **электронные управляющие программы** – увязка геометрических параметров обеспечивается на основе расчета и создания электронной модели и математической поверхности, и создания системы кодов для управления оборудованием с СЧПУ.

Чтобы **реально** обеспечить увязку размеров, применяют универсальные и специальные средства увязки:

**Универсальные** (инструментальные) средства увязки включают в себя:

- универсальные измерительные инструменты и приборы (штангенциркуль, микрометр);
- электронные контрольно-измерительные машины (КИМ);
- плаз-кондукторы (ПК);
- инструментальные стенды (ИС);
- оптические (нивелир, теодолит) и лазерные приборы и устройства;
- оборудование для механической обработки (СЧПУ, станки лазерного раскроя и т. д).

**Специальные** средства увязки делятся на две группы:

- плоские средства увязки (шаблоны как жесткие носители размеров, применяемые для увязки геометрических параметров, лежащих в одной плоскости);
- объемные средства увязки (монтажные эталоны, контрмакеты и макеты, слепки и контрслепки поверхностей деталей) – для деталей и сборных частей летательных аппаратов.

**Методы увязки** геометрических параметров элементов планера самолета определяют по двум признакам: **виду первоисточника увязки** и **виду средства увязки**, например: плазово-инструментальный метод увязки (ПИМ) с применением лазерных центрирующих систем; эталонно-инструментальный метод увязки (ЭИМ) с применением контрольно-измерительных машин; эталонно-макетный метод увязки с применением макетного агрегата; программно-инструментальный метод увязки (ПРИМ) с применением инструментального стенда.

В самолетостроении для сборки конструкций из **нежестких деталей** используют два метода и их модификации: **связанный (зависимый)** и **независимый**.

Для сборки конструкций из **жестких деталей** используют **несвязанный метод**, который основан на принципах взаимозаменяемости, принятых в общем машиностроении, когда в качестве контрольного оборудования используют систему допусков и посадок и универсальный инструмент

(линейку, штангенциркуль, микрометры, калибры, щупы, контркалибры). Такой метод используют при сборке узлов типа цилиндров стойки шасси, клапанов, деталей, полученных механической обработкой.

**Принцип связанного (зависимого) метода** взаимозаменяемости основывается на использовании жестких носителей форм и размеров деталей и специальной контрольной и технологической оснастки.

К жестким носителям относятся теоретические и конструктивные плазы, контрольные и рабочие шаблоны, контрэталоны и эталоны и т.п. Принцип связанного метода в самолетостроении реализовался как плазово-шаблонный метод (ПШМ) обеспечения взаимозаменяемости. Например, для обеспечения взаимозаменяемости крыла самолета на рис. 1.28 представлен примерный состав контрольно-эталонной оснастки, применяемый при зависимом плазово-шаблонном методе.

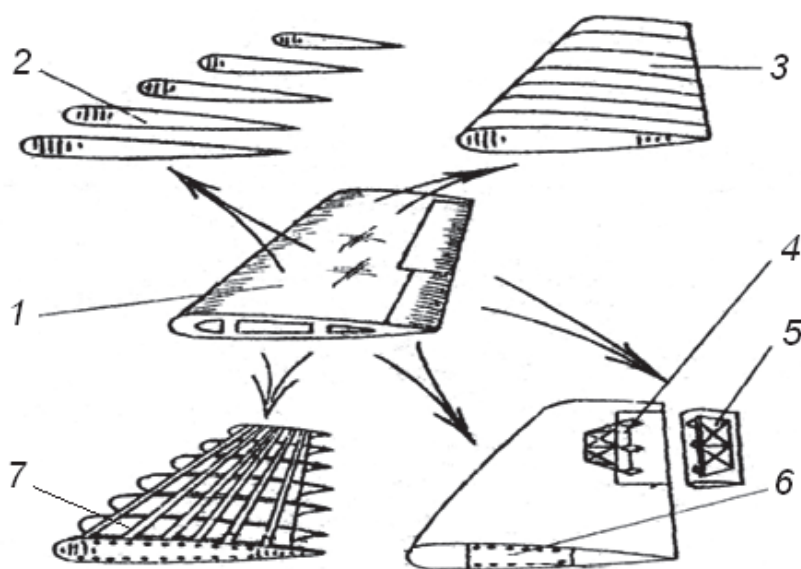


Рис. 1.28. Состав контрольной оснастки крыла:

- 1 – крыло; 2 – шаблоны сечений; 3 – эталон поверхности;
- 4 – калибр разъема крыла с элероном; 5 – калибр разъема элерона с крылом;
- 6 – плита разъема крыла; 7 – комплексный эталон крыла

Сопоставление допусков на стыки и разъемы современных самолетов свидетельствует о том, что изготовление жестких носителей размеров и форм целесообразно только тогда, если их размеры не превышают 2500 мм. Дальнейшее увеличение размеров ведет к резкому возрастанию погрешности монтажа базовых, обводообразующих и стыковых узлов. Кроме того, с увеличением размеров изделия возрастают расходы материала на оснастку. В этом случае необходим метод, который бы позволил обеспечить взаимозаменяемость без снижения точности сборки изделия. Такой метод получил название **независимого метода**.

**Принцип независимого метода** обеспечения взаимозаменяемости узлов и агрегатов основан на использовании в качестве носителей размеров и форм электронных моделей, на использовании станков с числовым программным обеспечением, использовании управляющих программ (УП) и контрольно-измерительных машин.

### **1.9.2. Основные особенности связанного метода**

В зависимости от применяемых жестких носителей форм и размеров связанный, зависимый метод представляют как:

- **плазово-шаблонный** метод (если используют плазы, шаблоны),
- **макетно-инструментальный** (если используют шаблоны, инструментальный стенд, макеты),
- **эталонно-шаблонный** (если применяют шаблоны, эталоны).

Сущность **плазово-шаблонного метода** состоит в том, что все размеры, снятые с чертежа изделия, переносятся на жесткие носители – плазы и шаблоны, которые являются основными источниками информации (на них наносятся оси стрингеров, нервюр; сборочные, базовые, направляющие отверстия; положения других элементов).

**Теоретический (ТП)** и **конструктивный (КП)** плаз представляет собой чертеж узла или агрегата в масштабе 1:1, выполненный тушью на металлическом алюминиевом листе в двух или трех проекциях с нанесенными теоретическими осями, контурами продольных и поперечных сечений агрегата, с геометрическими формами отдельных элементов.

Для сохранения форм и размеров ТП и КП хранятся в определенных условиях при постоянной влажности (около 75 %), температуре и давлении.

**Шаблоны контроля контура (ШКК)** используют для копирования рабочих шаблонов.

В практике самолетостроения основными считают следующие типы производственных шаблонов:

ШК – шаблон контура, соответствующий наружному контуру детали, сопрягаемому с обшивкой;

ШВК – шаблон внутреннего контура, соответствующий внутреннему контуру детали, сопрягаемому с обшивкой;

ШРД – шаблон развертки детали, соответствующий контуру детали, развернутой на плоскости;

ШЗ – шаблон заготовки, представляющий контур плоской заготовки для детали;

ШФ – шаблон фрезерования, соответствующий контуру ШРД или ШЗ;

ШКС – шаблон контура сечения, соответствующий контурам ШКК, ШК, ШВК;

ШГ – шаблон гибки, соответствующий контуру ШК или ШВК; используется, как правило, для деталей трубчатых или с одной кривизной;

ШОК – шаблон обрезки и кондуктор для сверления отверстий и обрезки контура, может называться – шаблон обрезки контура;

ШП (ШМФ) – шаблон приспособлений, соответствующий контуру ШКК или ШК;

ШР – шаблоны разные, соответствующие контурам, которые не были учтены; могут быть плоскими и пространственными.

Монтажные эталоны, эталоны поверхности, слепки, контрэталон являются самыми точными носителями размеров и форм сборочной единицы, они позволяют повысить точность сборки изделия, упростить монтаж сборочного приспособления и повысить точность монтажа. Основная особенность таких эталонов – высокая стоимость и долгий цикл изготовления. **Эталон** поверхности агрегата предназначен для контроля внешних обводов агрегата, для монтажа стапеля, периодической проверки положения рубильников сборочных приспособлений. **Слепки** поверхности предназначены для выполнения, например, обтяжных пуансонов. **Контрэталон** (КЭ) – элемент контрольной оснастки, представляет собой ответные обводы эталона и ответные узлы стыков. КЭ эталонирует (контролирует) обводы эталона.

Для согласования (увязки) размеров деталей и оснастки необходимо составлять структурные схемы увязки размеров базовых элементов оснастки и деталей. Например, для нервюры, замыкающий размер которой образуют полки нервюры, структурную схему увязки можно представить следующим образом:



В структурной схеме увязки стрелки обозначают этап переноса размера, например, с КП (конструктивного плаза) на ШКК (шаблон контроля контура) каким-либо способом (расчерчиванием, копированием, припиловкой, фрезерованием). Каждому этапу свойственны погрешности переноса размера или отклонения размера от теоретического значения. Статистические величины отклонений размера в виде производственных погрешностей сведены в специальные производственные таблицы, которые определяют верхние ВО<sub>i</sub> и нижние НО<sub>i</sub> отклонения размера на каждом этапе.

На рис. 1.29 приведена общая схема увязки размеров для всех деталей при плазово-шаблонном методе.





### 1.9.3. Особенности независимого метода увязки

В настоящее время технические возможности современных ЭВМ и программное обеспечение позволяют производить теоретическую и конструктивную увязку размеров деталей и оснастки с помощью **трехмерных электронных моделей (ЭМ)**. В этом случае ЭМ является параметрическим носителем геометрических параметров деталей изделия и базовых элементов приспособления и определяет их взаимное расположение между собой в сборке и привязку к базовым осям и плоскостям. Использование ЭМ при согласовании размеров, форм, заданных положений элементов конструкции и базовых элементов сборочных и контрольных приспособлений используется в *независимых методах увязки* (или электронном методе), когда процесс согласования размеров идет *без применения* шаблонов, слепков поверхности и эталонов.

Использование ЭМ дает возможность параллельного выполнения работ всеми участниками подготовки производства самолета, что значительно сокращает время технологической подготовки производства.

Появление интегрированных систем высокого уровня CAD/CAM/CAE («Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing/Computer Aided Engineering») (Системы автоматизированного проектирования, изготовления и инженерного анализа) позволяет выполнять электронное описание объекта производства с точностью до 1...3 микрон с применением принципа трехмерной параметризации.

В реальном производстве применение электронной геометрической модели позволяет *отказаться* от изготовления дорогостоящих макетов поверхности, использования метода пескослепков для изготовления рабочих болванок и штампов с использованием СЧПУ.

В этом случае цикл подготовки производства значительно сокращается, повышаются уровень увязки и точность оснастки.

**При независимом методе увязки первоисточником** размеров являются ЭМ. С помощью ЭВМ и программного продукта типа Unigraphics:

- разрабатывают ЭМ изделия и его отдельных элементов, узлов и агрегатов,
- разрабатывают УП для изготовления каждого элемента для станков с ЧПУ, координатно-расточных СЧПУ, для станков лазерного раскроя,
- затем на станках с ЧПУ с помощью управляющих программ изготавливают детали и базовые элементы оснастки с высокой точностью,
- затем изготовленные детали проходят контроль на КИМ и других контрольных приспособлениях.

На рис. 1.30 приведена типовая схема увязки размеров элементов оснастки и деталей кессона самолета с применением независимого метода.

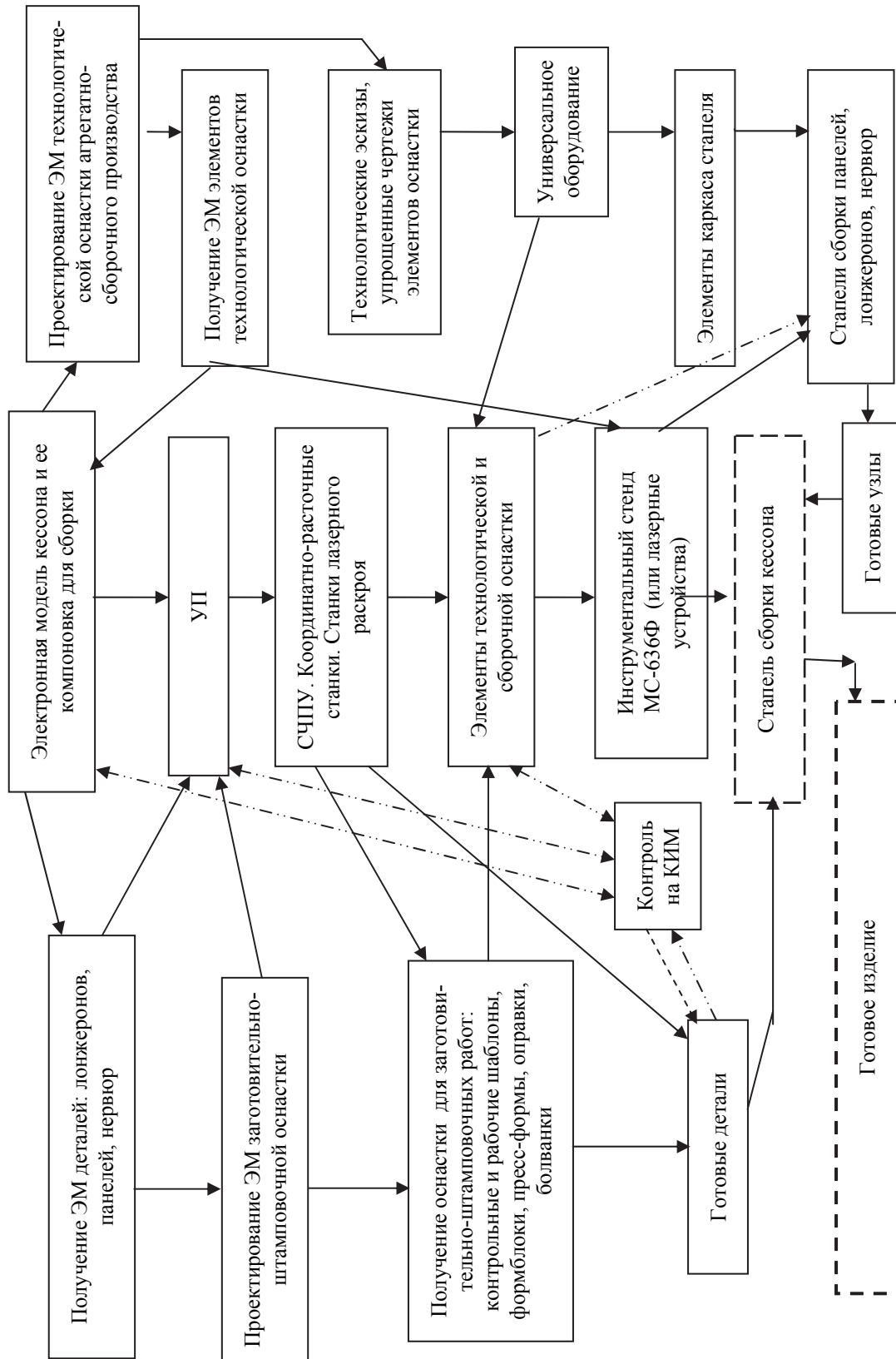
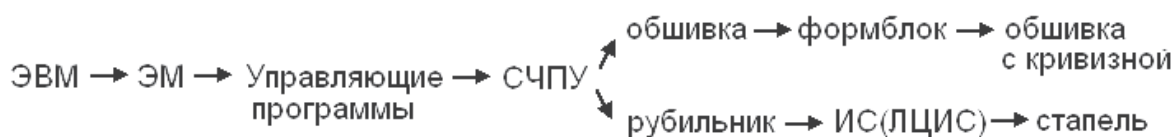


Рис. 1.30. Принцип увязки размеров элементов оснастки и деталей кессона при независимом методе

Если при сборке изделия использовать независимый электронный метод увязки, то один из вариантов структурной схемы увязки (согласование размеров и формы внешнего обвода изделия) может быть такой:



где ЭМ, ИС, ЛЦИС – соответственно электронная модель, инструментальный стенд, лазерные центрирующие измерительные системы.

Комментируя схему увязки, можно отметить, что для обеспечения взаимозаменяемости агрегата с помощью электронного метода необходимо составить разветвляющуюся цепочку: ЭВМ, где создают ЭМ, этап разработки управляющих программ для СЧПУ. Затем готовые элементы идут по двум направлениям:

- изготовление детали (из плоской обшивки превращение в обшивку с кривизной с помощью формблока, изготовленного с применением ЭМ);
- изготовление базовых элементов приспособления (или базовой поверхности рубильника или базовых отверстия на стапеле), которые должны устанавливаться в стапеле с применением инструментального стенда, лазерных центрирующих измерительных систем или монтажного эталона.

Целесообразность применения связанного ПШМ или независимого электронного метода в каждом конкретном случае определяется в зависимости от различных факторов: от габаритов самолета, программы выпуска, энергооснащенности авиационного предприятия.

#### **1.9.4. Особенности метода объемной увязки**

Технические возможности вычислительной техники и систем автоматизированного проектирования позволяют выполнять не только электронные сборки, но и трассировку в электронном виде трубопроводов и электрических жгутов.

Для обеспечения взаимозаменяемости положения трубопроводов, оборудования и электрических жгутов одним из перспективных методов в этом аспекте является **метод объемной увязки (МОУ)**.

Сущность МОУ заключается в согласовании геометрических параметров (размеров) деталей конструкции и параметров оборудования в процессе создания **объемного макета**.

**Объемный макет** – это макетно-технологический образец отсека, агрегата или изделия, собранный из взаимоувязанных деталей, оборудова-

ния, 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.

По результатам объемной увязки оборудования и бортовых систем выпускается полный комплект конструкторской документации, механо-заготовительная и сборочная оснастки, технологическая документация.

Для внедрения МОУ необходимо, чтобы сборка объемного макета и отработка в нем бортовых систем и оборудования велись раньше по времени, чем сборка изделий головной серии.

Необходимо, чтобы до поступления первых изделий на общую сборку были изготовлены комплекты серийных трубопроводов, электро-радиожгутов и другие элементы системы.

## 2. РАСЧЁТ ОЖИДАЕМОЙ ТОЧНОСТИ СБОРКИ

Под точностью сборочного контура понимают степень соответствия геометрических параметров готового изделия параметрам, заданным в чертежах и технических условиях.

Различают три вида **точности сборки**:

1) **требуемую** (заданную) точность, которую назначает конструктор при разработке чертежей изделия;

2) **действительную** точность, полученную в результате изготовления изделия;

3) **расчётную** (ожидаемую) точность, установленную расчётом.

Точность сборки определяют три группы **производственных погрешностей**, которые появляются в процессе изготовления жестких носителей размеров (шаблонов, эталонов, слепков), базовых элементов СП, при увязке размеров деталей и оснастки, а также при выполнении сборочных работ:

1) погрешности изготовления рабочего носителя размеров (шаблона)  $\delta_{шабл}$  или СП  $\delta_{пр}$ , погрешности базовой детали  $\delta_{баз}$ , погрешности изготовления калибра  $\delta_{к}$ ;

2) погрешности увязки контуров базовой и устанавливаемой детали  $\delta_{кон(б-у)}$ , увязки приспособления и детали  $\delta_{кон(пр-дет)}$ , увязки двух СП  $\delta_{кон(пр-пр)}$ ;

3) погрешности, не зависящие от применяемого метода сборки: погрешности клепки  $\delta_{кл}$ , температурные погрешности  $\delta_{темп}$ , погрешности за счет деформации нежестких деталей  $\delta_{деф}$ , погрешности изменения толщины обшивки  $\delta_{обш}$ .

Значения *допускаемых производственных погрешностей* задают на основе экспериментально подтвержденных, статистически обработанных замеров отклонений от номинального размера. Величины отклонений производственных погрешностей сведены в специальные таблицы, которые имеются на каждом самолетостроительном предприятии.

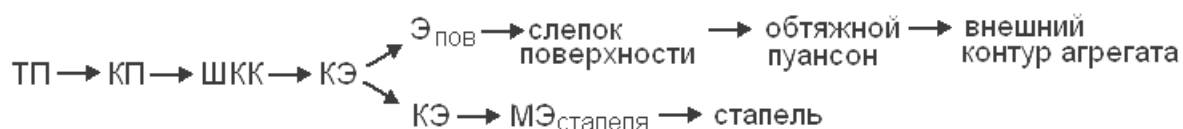
В табл. 2.1 представлен фрагмент таблиц среднестатистических значений отклонений (погрешностей) размеров при переносе размера с одного носителя на другой (поэтапно).

Таблица 2.1

Величины отклонений размера на различных этапах переноса размеров

Обозначение этапа	Метод переноса размеров	Отклонение контура, мм	Коэффициент $\alpha_i$	Коэффициент $K_i$
ТП – КП	Расчерчивание	0; –0,1	0,0	1,0
КП – ОК	Фотопечать	+0,1; –0,1	0,0	1,0
ОК – ШК	Припиловка	0; –0,15	0,5	1,4
ШК – ШВК	Припиловка	0; +0,15	0,5	1,4
ШК – ШРД	Припиловка	0,3; 0,0	0,5	1,4
ШК – ШОК	Припиловка	+0,2; 0,0	0,5	1,4
ШРД – ШФ	Припиловка	+0,2; –0,5	0,5	1,4
ШФ-деталь	Фрезерование	+0,2; –0,2	0,0	1,0
ШП (ШМФ) – рубильник	Припиловка	+0,2; –0,2	0,5	1,4
Рубильник-ПК	Слепок	+0,1; –0,1	0,5	1,4
ПК-приспособление	Фиксация	+0,1; –0,1	0,0	1,0
ИС-приспособление	Фиксация	+0,1; –0,1	0,0	1,0
ШК – ШГ	Припиловка	0,2; 0,0	0,5	1,4
ШГ-пуансон	Припиловка	+0,2; –0,2	0,5	1,4
Пуансон-деталь	Гибка	0,5; 0,0	0,2	1,2
ШВК-формблок	Припиловка	+0,2	0,2	1,2
КП – ШКС	Припиловка	0,0; –0,2	0,5	1,4
ШКС-копир	Припиловка	0,2; 0,0	0,5	1,1
СЧПУ – ШП	Мех. обработка	+0,1; –0,1	0,0	1,0
СЧПУ-формблок	Мех. обработка	+0,1; –0,1	0,0	1,0
Формблок-деталь	Штамповка резиной	0,3; 0	0,0	1,0
КЭ – МЭ	Слепок	0; –0,1	0,0	1,0
МЭ-приспособление	Фиксация	+0,1; –0,1	0,0	1,0
СЧПУ-рубильник	Мех. обработка	+0,15; –0,15	0,0	1,0
СЧПУ-деталь	Мех. обработка	+0,15; –0,15	0,0	1,0

Вариант структурной схемы увязки размеров и форм обшивки и элементов оснастки при использовании **эталонно-шаблонного метода** может быть представлен в таком виде:



где ТП, КП, ШКК – соответственно теоретический плаз, конструктивный плаз, шаблоны контроля контура; КЭ, Э, МЭ – соответственно контрэталон, эталон, монтажный эталон.

Для расчёта ожидаемой точности сборки узла или агрегата необходима следующая документация:

- технические требования или условия ТУ на точность сборки (допускаемые отклонения контура) изготавливаемого изделия;
- используемый способ базирования, который обеспечит заданную точность;
- выбранный метод взаимозаменяемости и разработанная схема увязки размеров деталей и оснастки для сборки узла или агрегата.

Ожидаемая расчётная точность сборки изделия определяется погрешностями сборки и зависит от способов базирования и схемы увязки.

## 2.1. Уравнения погрешностей при различных способах базирования

Выбранный способ базирования влияет на точность сборки узла, агрегата. В каждом конкретном случае допустимые отклонения (погрешности) от номинального размера задаются разработчиком в специальных ТУ на изделие. После расчёта точности сборки сравнивается полученное значение погрешности с допустимым значением и делается вывод о применении выбранного метода базирования.

Для каждого способа базирования имеется свое уравнение погрешности.

При использовании **способа базирования по внешней поверхности обшивки** применяют следующее уравнение погрешности сборки:

$$0,6\delta_{сб} = \delta_{np} + \delta_{кон(np-дет)} K_{приж} \quad (2.1)$$

где  $\delta_{сб}$  – точность сборки готового агрегата;  $\delta_{np}$  – погрешность СП;  $\delta_{кон(np-дет)}$  – погрешность увязки приспособления и устанавливаемой детали;  $K_{приж}$  – коэффициент прижима.

Коэффициент прижима рубильников характеризует степень фиксации изделия при сборке, выбирается в зависимости от длины изделия и числа прижимов в СП.

Коэффициент 0,6 в левой части уравнения (2.1) учитывает сумму погрешностей клепки  $\delta_{кл}$ , деформаций деталей  $\delta_{деф}$  и изменений температуры в процессе сборки  $\delta_{темн}$  (до 40 % всей погрешности сборки).

Уравнение погрешностей типа (2.1) выбирают для сборки узлов при базировании в СП, для сборки агрегатов и отсеков, расчлененных на панели, со сравнительно толстой обшивкой (толщина обшивки равна или более 1 мм) и при высоких требованиях к точности обводов внешних контуров агрегата. Точность сборки при этом способе базирования лежит в пределах 0,4...0,6 мм.

При использовании **базирования по поверхности каркаса** используют следующее уравнение погрешностей:

$$0,6\delta_{сб} = \delta_{пр} + \delta_{кон(пр-дет)} + 2\delta_{обш} + 2\delta_{клея},$$

где  $\delta_{обш}$  – погрешность толщины обшивки;  $\delta_{клея}$  – погрешность толщины клеевого или паяного слоя.

Базирование по поверхности каркаса используют при сборке агрегатов и отсеков не расчлененной на панели конструкции, имеющей мощный силовой каркас и тонкую обшивку (рули хвостового оперения, триммеры, закрылки, предкрылки, носовые и хвостовые отсеки крыла).

Погрешность сборки при этом способе базирования достигает значений 1,5...2,5 мм.

**При базировании по СО** деталей точность сборки будет зависеть от точности изготовления базовой детали  $\delta_{баз}$  и точности устанавливаемых деталей, а также от погрешностей увязки  $\delta_{дет(кон-СО)}$ , погрешностей фиксации и клепки  $\delta_{кл} + 2\delta_{фикс}$ .

Точность сборки узлов невысока и лежит в пределах 2,0...2,4 мм.

Уравнение погрешностей, например, для сборки нервюры, состоящей из стенки и двух поясов, будет следующим:

$$0,7\delta_{сб} = \delta_{баз} + \delta_{дет1(кон-СО_1)} + \delta_{дет2(кон-СО_2)}.$$

Погрешности от клепки и фиксирования (зазоры между отверстиями СО и штырями-фиксаторами) по статистическим данным равны  $0,3\delta_{сб}$ .

**Базирование по БО стапеля** используют при агрегатной сборке для панелированных конструкций тяжелых и средних самолетов в упрощенных стапелях.

Уравнение погрешностей будет следующим:

$$0,6\delta_{сб} = \delta_{пр} + \delta_{дет\ 1(кон-БО_1)} + \delta_{дет\ 2(кон-БО_2)}.$$

Точность сборки агрегатов находится в пределах 0,6...0,8 мм.

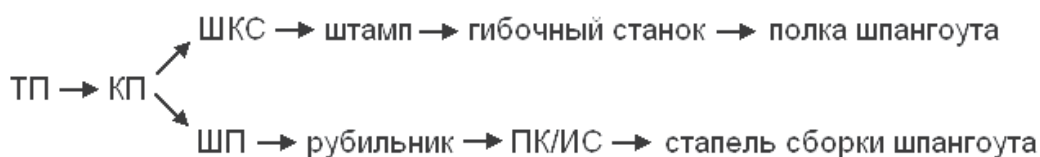
## 2.2. Разработка структурной схемы увязки при расчёте точности сборки

На точность готового изделия влияет и выбранный способ обеспечения взаимозаменяемости.

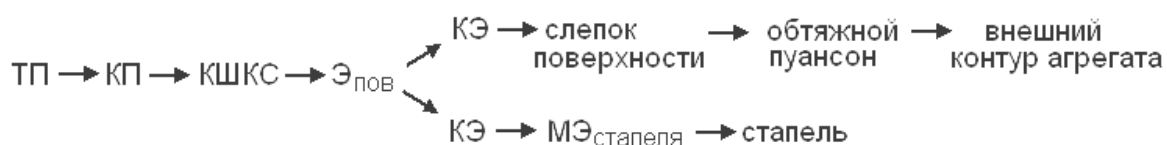
При сборке изделий расчёт ожидаемой точности сборки изделия зависит от числа этапов в структурной схеме увязки, от точности переноса размеров с плазов и шаблонов на элементы оснастки и деталей.

Так как от этапа к этапу происходит накопление погрешностей размеров, то необходимо выбирать оптимальное число этапов. Но при этом надо учесть, что при большом числе этапов получают большую погрешность сборки, при малом числе этапов трудно получить взаимозаменяемые агрегаты и изделие.

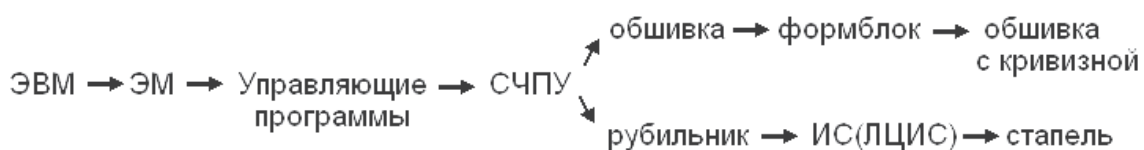
Например, при плазово-шаблонном методе один из вариантов структурной схемы увязки выглядит так:



При эталонно-шаблонном методе (когда используются эталоны и шаблоны) структурная схема увязки может быть такой:



Если при сборке изделия использовать независимый электронный метод увязки, то один из вариантов структурной схемы увязки выглядит так:





### 2.3. Основные формулы для расчёта точности сборки

Для расчёта точности сборки узла или агрегата применяют аппарат теории размерных цепей.

**Размерная цепь** – совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в описании взаимного положения поверхностей деталей в узле или агрегате.

Размерная цепь состоит из замыкающего звена и составляющих звеньев. На примере сборки нервюры (см. рис. 1.17) рассмотрим её размерную цепь (см. рис. 1.18). Размер замыкающего звена  $A_{зам}$  определяется как алгебраическая сумма увеличивающих звеньев  $A_1, A_2, A_3$ :

$$A_{зам} = A_1 + A_2 + A_3.$$

Если составляющие звенья размерной цепи выполнены с производственными погрешностями  $\Delta_i$ , то в силу замкнутости сборочной размерной цепи замыкающее звено получит погрешность  $\Delta_{зам}$ , определяемую уравнением производственных погрешностей:

$$\Delta_{зам} = \sum_{n=1, m=1}^{n, m} A_i \Delta_i, \quad (2.2)$$

где  $n$  и  $m$  – число увеличивающих и уменьшающих звеньев;  $A_i$  – передаточное отношение, характеризующее влияние составляющих звеньев на замыкающее звено;  $A_i = 1$  – для увеличивающих звеньев,  $A_i = -1$  – для уменьшающих звеньев, с ростом которых уменьшается замыкающее звено.

Решение уравнения (2.2) можно вести по методу «максимум-минимум», по методу «равных допусков» или теоретико-вероятностным методом.

Рассмотрим расчёт теоретико-вероятностным методом. Основываясь на принципах теории вероятности, решение уравнения погрешностей (2.2) сводится к определению двух основных статистических характеристик: координаты центра группирования погрешностей сборки  $\Delta_{\Sigma}$  и среднеквадратичного отклонения или половины поля допуска замыкающего звена  $\delta_{\Sigma}$ , т.е. погрешность замыкающего размера  $\Delta_{зам}$  определится таким образом:

$$\delta \Delta_{зам} = \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma}.$$

Эти статистические характеристики определяются по формулам

$$\Delta_{\Sigma} = \sum (A_i \Delta_i + A_i \delta_i \alpha_i); \quad \delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{A_i^2 \delta_i^2 K_i^2},$$

где  $A_i$  – передаточное отношение;  $\Delta_i$  – координата центра группирования погрешностей составляющего звена;  $\delta_i$  – среднеквадратичное отклонение размера составляющего звена;  $\alpha_i$  – коэффициент относительной асимметрии распределения составляющего звена;  $K_i$  – коэффициент относительного рассеивания размера составляющего звена.

В случае нормального закона распределения погрешностей размера (по закону Гаусса)  $\alpha_i$  и  $K_i$  соответственно равны 0 и 1. Для других видов распределения  $\alpha_i$  и  $K_i$  определяются экспериментально и приводятся в специальных таблицах.

Статистические характеристики  $\Delta_i$  и  $\delta_i$  составляющих звеньев цепочки определяются следующим образом:

- **координаты центра группирования погрешностей** составляющих звеньев

$$\Delta_i = \frac{BO_i + HO_i}{2},$$

где  $BO_i$  и  $HO_i$  – соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения размеров составляющих звеньев. При симметричном расположении верхнего и нижнего отклонений  $\Delta_i = 0$ ;

- **среднеквадратичное отклонение** или **половина поля допуска** составляющего звена

$$\delta_i = \frac{BO_i - HO_i}{2}.$$

Исходя из уравнений погрешностей, расчет ожидаемой точности проводят отдельно для сборочного приспособления и для увязки.

При расчете погрешности отклонений размеров СП из структурной схемы увязки выбирают только этапы – цепочки монтажа приспособления

$$\delta_{пр} = \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma}.$$

При расчете погрешности увязки выбирают только несвязанные этапы обеих ветвей в структурной схеме увязки

$$\delta_{увяз(кон-дет)} = \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma}.$$

Затем определяют точность сборки как сумму двух погрешностей

$$0,6\delta_{сб} = \delta_{пр} + \delta_{увяз(кон-дет)} K_{приж}.$$

Полученную точность сборки сравнивают с допускаемыми значениями точности и делают вывод о правильности выбора способа базирования и схемы увязки размеров деталей и оснастки.

Полученная расчётом точность не должна превышать допустимых отклонений, заданных по ТУ на изделие.

В табл. 2.2 приведены значения допустимых отклонений размеров от номинального размера для скоростных самолетов (полеты со скоростью более 750 км/ч).

Расчёт точности сборки рекомендуется вести в табличной форме.

После расчёта ожидаемой точности сборки узла (или агрегата) сравнивают значения расчётной точности с допустимыми отклонениями и делают выводы.

Таблица 2.2

Допустимые отклонения размеров на внешние контуры агрегатов

Агрегат	Часть агрегата	Отклонение, мм
Фюзеляж	Носовая	$\pm 1,5$
Фюзеляж	Средняя и хвостовая	$\pm 2,0$
Крыло	Носовая часть (30 – 40 % от хорды)	$\pm 1,0$
Стабилизатор	Центральная и хвостовая части	$\pm 2,0$
Киль	Центральная и хвостовая части	$\pm 2,0$

Если **расчётная точность сборки** получилась **больше допустимых значений**, то необходимо проанализировать оптимальность выбранного технологического процесса сборки, способа базирования, разработанной схемы увязки оснастки и размеров деталей и изменить способ базирования, схему увязки, чтобы повысить точность сборки.

Если же **ожидаемая точность** сборки узла или агрегата лежит в пределах **допускаемой точности** (входит в границы допусков), то все параметры технологического процесса, способ базирования и схема увязки выбраны верно.

### 3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СБОРОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ

Самолет как объект производства отличается сложностью аэродинамических обводов, включает большое количество входящих деталей, большинство которых обладает малой жесткостью. Чтобы получить точные размеры и взаимозаменяемость готовых узлов, отсеков, агрегатов при сборке, необходимо использовать **специальные сборочные приспособления**.

Сборочное приспособление позволяет из нежестких элементов собрать жесткую каркасированную конструкцию с заданной точностью и взаимозаменяемостью.

**Сборочное приспособление (стапель)** имеет две системы: основную и вспомогательную (рис. 3.1). Основная система элементов обеспечи-

вают качественную сборку изделия, вспомогательные системы обеспечивают удобство рабочих при выполнении сборочных операций.

**Основные элементы стапеля** разделяют на четыре системы элементов: несущую (каркасную), базовую, установочную, зажимную.

**Несущие элементы системы (НЭС)** образуют жесткий мощный каркас, который связывает все его системы в единое целое – приспособление.

От степени жесткости каркаса зависят точность и постоянство положения всех узлов (приспособления и изделия). Каркас должен быть мощным, жестким, должен поглощать все случайные удары, неизбежные при сборке.

К каркасу не предъявляют строгих требований к точности размеров и строгости форм. Эти условия создают основу для унификации и стандартизации элементов каркаса.

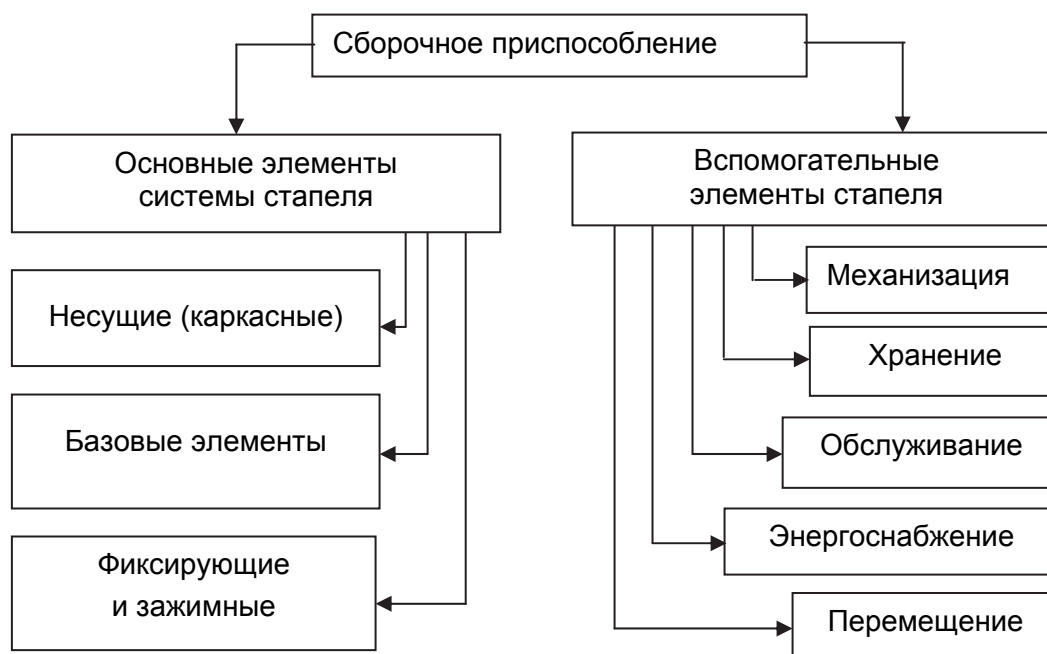


Рис. 3.1. Схема систем элементов СП

**Каркас** состоит из вертикальных колонн или стоек, опор и горизонтальных продольных и поперечных балок. Каркас крепится на основании или фундаментных плитах. **Колонны** используют для крупных стапелей (для сборки отсеков фюзеляжа, всего фюзеляжа, сборки крыла). Работают колонны на сжатие. Они выполняются пирамидальной или призматической формы из чугуна или железобетона. **Стойки** применяют для небольших и мелких приспособлений. Выполняются из чугуна и железобетона, могут быть и из низкоуглеродистой стали. Работают стойки на сжатие. **Балки** – основные элементы НЭС, расположены горизонтально или под небольшим углом к горизонту, работают на изгиб. Их выполняют из стального проката (двух швеллеров, образующих замкнутый контур сече-

ния, соединены швеллеры сваркой). При проектировании ступеней задают допустимый прогиб балок  $[f]$  от работы их на изгиб. На балках проводят монтаж элементов: стаканов с вилками для навески рубильников, кронштейнов, калибров разъемов.

Каркасы выполняют по рамной, балочной, многоопорной и ферменной силовым схемам, разделяют на плоские и пространственные (рис. 3.2).

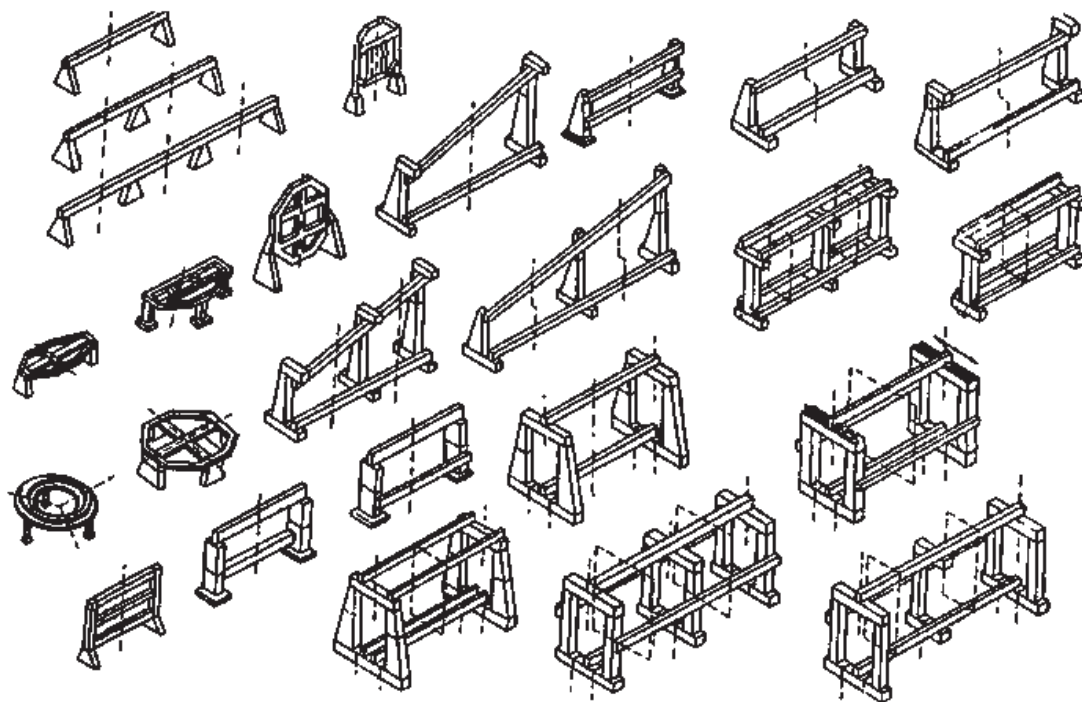


Рис. 3.2. Типовые конструктивно-силовые схемы каркасов

Плоские рамные и балочные каркасы могут быть горизонтальными, вертикальными, стационарными и поворотными. Такие каркасы имеют две опоры, одну или две балки (СП для сборки панелей, нервюр, шпангоутов, лючков, предкрылков, закрылков).

Пространственные каркасы имеют три или четыре опоры, две или четыре балки (СП для сборки отсеков фюзеляжа, для сборки оперения, крыльев). Такие каркасы выполняют стационарными.

**Базовые элементы системы (БЭС)** обеспечивают точное взаимное расположение деталей и сборочных единиц в СП относительно сборочных баз (ложементов рубильников и упоров; сборочных и базовых отверстий в деталях и элементах стапеля). Изготовление БЭС, их увязка с точками узлов навески, совместное разделывание отверстий требуют высокой точности, так как именно положение этих элементов определяет точность и взаимозаменяемость готового изделия. Для точного монтажа БЭ в СП применяют: эталоны, макеты, оптические приборы, лазерные системы, инструментальные стенды.

**Установочные элементы (УЭС)** устанавливаются на каркасе, их назначение – обеспечить точное положение базовых элементов СП. К

установочным элементам относятся стаканы, вилки, кронштейны, базовые пластины (рис. 3.3).

**Фиксирующие элементы** стапеля служат для фиксации положения и соединения деталей (фиксаторы, шпильки, болты).

**Зажимные элементы** СП служат для поджатия элементов сборочной единицы к БЭ сборочного приспособления (пружинные фиксаторы).

**Вспомогательные системы** СП предназначены для создания нормальных условий работы сборщиков в СП и повышения производительности труда. К ним относятся:

- элементы обслуживания и хранения – рабочие площадки, помосты, лестницы, стремянки, стеллажи;
- элементы энергоснабжения – электропроводка и воздушный трубопровод;
- система механизации клепальных и сборочных работ;
- система подъема и перемещения элементов приспособления.

В разделочных и стыковочных стендах проводят доработку стыков и разъемов для выполнения стыковочных работ. Для **разделочных стапелей** в состав вспомогательной оснастки входят различного рода приводы для перемещения сборочных единиц, механизмы подачи инструмента; элементы, направляющие инструмент; сверлильно-фрезерные станки.

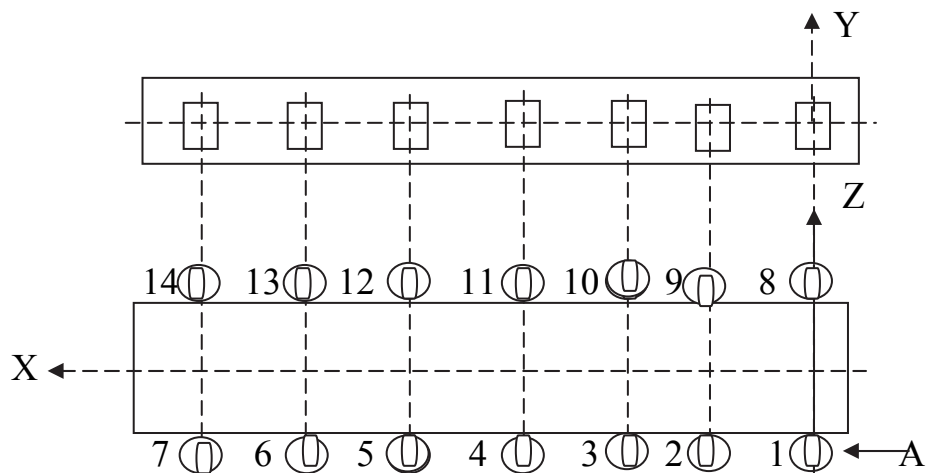


Рис. 3.3. Размещение установочных элементов (стакана и вилки) на горизонтальной балке стапеля

На рис. 3.4 представлено приспособление с плоским каркасом рамной конструкции, оно имеет две продольные горизонтальные балки, восемь рубильников, одну мастер-плиту. Каркас установлен на стойки, элементы каркаса соединены болтами. Рубильники крепятся на балки через приваренные к балкам стаканы, в которые устанавливают вилки-проушины. Рубильник соединен с вилкой штырем-фиксатором.

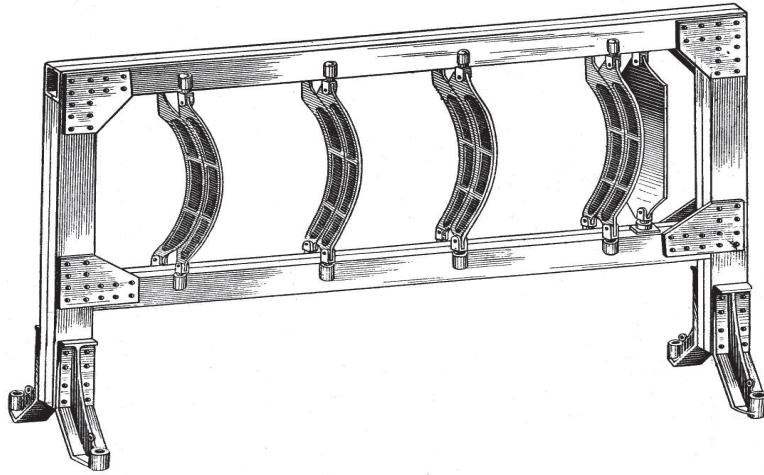


Рис. 3.4. Сборочное приспособление для сборки панели

На рис. 3.5 представлен стапель сборки фюзеляжа. Это уже сложная пространственная конструкция. Каркас состоит из мощных четырех колонн, имеет две продольные верхние, две продольные нижние горизонтальные балки, имеются пять поперечных балок, восемнадцать рубильников, ложементы которых как сборочные базы копируют внешний обвод фюзеляжа.

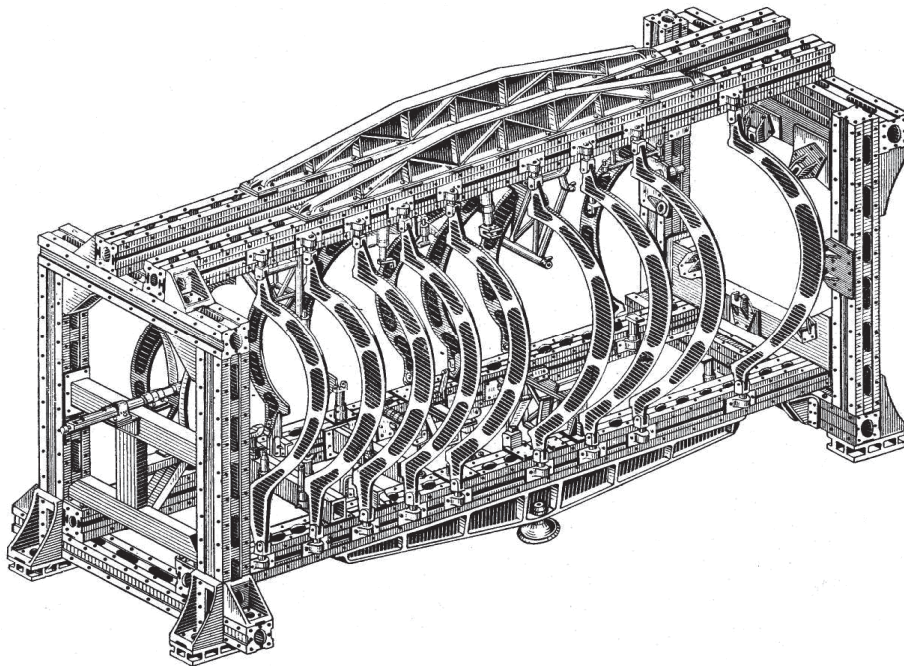


Рис. 3.5. Стапель сборки отсека фюзеляжа

На каркасе и продольных балках закреплены элементы жесткости и система поднятия и опускания рубильников. Рубильники имеют установочные элементы – стаканы и вилки.

На рис. 3.6 представлен вариант «упрощенного» стапеля. С помощью макетных шпангоутов 5 и 6 добиваются точной фиксации стыков. Фикса-

ция пола 8 с салоном идет с помощью фиксаторов 7. На кронштейнах основных колонн стапеля расположены подвижные узлы или базовые пластины с БО или СО, которые являются сборочными базами для установки панелей агрегата.

В этом случае вместо ложементов рубильников как сборочные базы выступают БО в стапеле и СО в сопрягаемом узле (панели).

Стапель имеет вспомогательные элементы для безопасности проводимых работ и удобства клепки – это настилы, лестницы, перила.

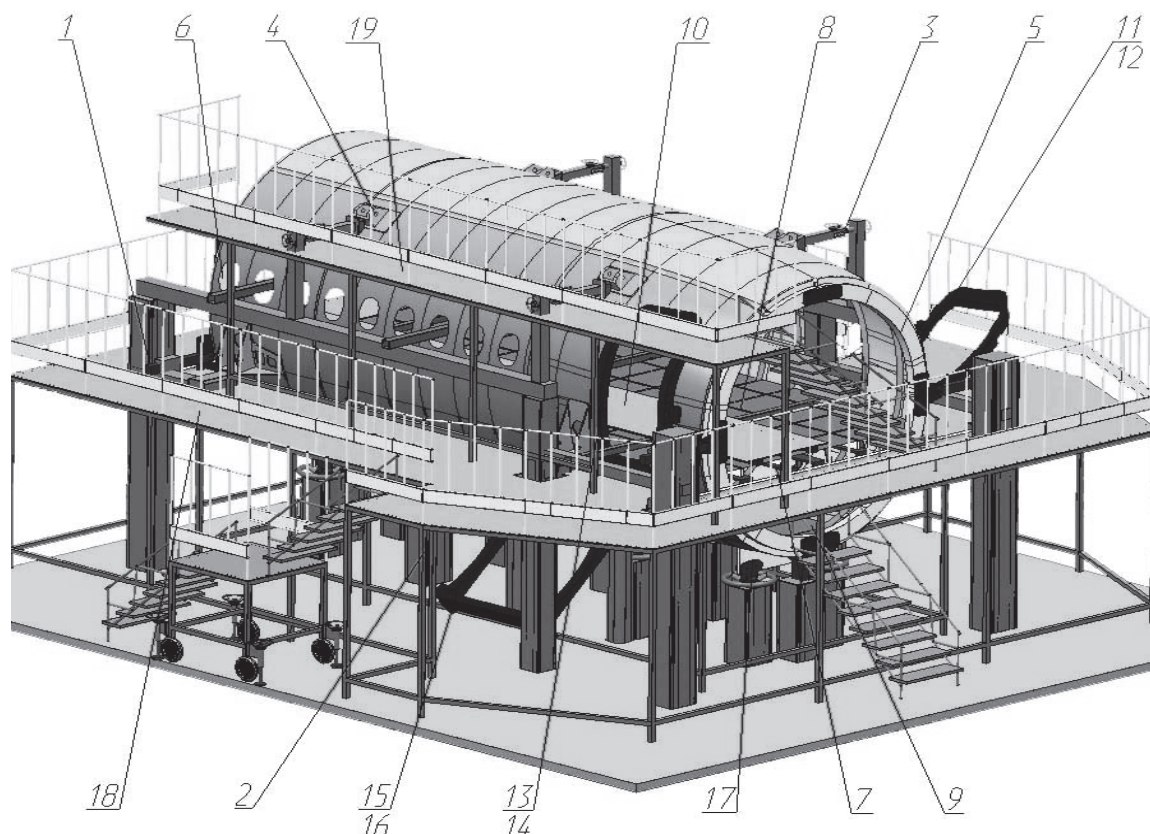


Рис. 3.6. Электронная модель стапеля сборки отсека фюзеляжа:

1 – основная колонна; 2 – дополнительная колонна; 3 – узел подвижный с БО; 4 – узел такелажный

Для обеспечения качественной клепки стапель имеет нижний 9 и верхний 10 технологические полы. Имеются элементы фиксации 11 и 12 входной двери и элементы фиксации 13 и 14 сервисной двери. Для фиксации элементов грузового отсека имеются элементы 15 и 16. Внизу стапеля имеются ложементы 17 для установки панелей фюзеляжа. Рабочие стоят на площадках 18 и 19.

Как видно из рисунка – стапель не имеет рубильников, вместо рубильников установлены подвижные кронштейны с базовыми пластинами и базовыми отверстиями (БО). Сборочными базами в этом случае служат БО в стапеле и СО в сборочной единице.



## 4. ТИПЫ СОЕДИНЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ СБОРКЕ

В самолетостроении при выполнении сборочных работ для соединения сборочных единиц и деталей применяют клепаные, сварные, паяные, клееные, резьбовые, комбинированные, шарнирные, шаровые соединения. Все эти соединения можно разбить на разъемные и неразъемные.

К **неразъемным соединениям** относятся соединения, которые невозможно разобрать без разрушения основного материала и крепежных элементов, например: клепаные, сварные, паяные, клееные, комбинированные, болтовые с натягом.

**Разъемные соединения** могут быть подвижными и неподвижными. **Неподвижные соединения** – болтовые со свободной посадкой, болтовые с тугой посадкой, болтовые с посадкой на конус. **Подвижные** соединения – шарнирные, зубчатые, винтовые, «гребенка».

Выбор соединения зависит от конструкции и назначения самолета, от применяемых материалов.

Следует отметить, что наибольший вес конструкции дают болтовые, клепаные соединения, а наименьший вес – сварные и паяные соединения.

### 4.1. Особенности заклепочных соединений

Наиболее распространенным типом соединения деталей в узлы, панели, агрегаты в самолетостроении является клепка, которая обеспечивает требуемую надежность и ресурс работы соединения и узла.

Количество заклепок в самолете среднего веса доходит до 400 – 800 тыс. шт., а в тяжелых самолетах до 1,5 – 2,0 млн шт. При таком количестве заклепок трудоёмкость сборочно-клепальных работ на самолете доходит до 30 – 35 % общей трудоёмкости изготовления планера.

При соединении деталей заклепками выполняют следующие операции:

- сверление (или пробивку) отверстий под заклепку. При этом применяют пневмодрели, электродрели, сверлильные установки, пробивные штампы;
- зенкование (или штамповку) гнезда под потайную закладную головку заклепки. Применяют сверлильно-зенковальные установки, автоматы, зенковки;
- постановку заклепки в отверстие вручную или с помощью клепального автомата (в бункер автомата засыпают определенный тип заклепок и через специальное ориентирующее устройство заклепки устанавливаются в отверстие соединяемых деталей);
- образование замыкающей головки заклепки, т.е. процесс клепки. Применяют при этом пневмомолотки, клепальные прессы и клепальные автоматы;

- контроль качества выполненного процесса клепки (контролируют визуально и с помощью щупов, штангенциркулей западание и выступание головок заклепок, высоту замыкающей головки).

В самолетостроении применяют холодную клепку. В этом случае не снижаются механические характеристики соединяемых материалов, значительно снижается трудоёмкость клепальных работ.

Применяемые заклепки нормализованы, т.е. их маркируют в соответствии со стандартом отрасли (ОСТ) или государства (ГОСТ). Каждая заклепка имеет шифр, указывающий форму закладной головки, тип стандарта, марку материала, диаметр и длину стержня заклепки. Например, заклепка 3501А5-12: шифр 3501 указывает, что это плоская закладная головка, А – отраслевой стандарт, 5 – диаметр стержня заклепки, 12 – длина стержня заклепки.

По внешнему виду различают два типа заклепок: с потайной закладной головкой (угол конуса  $\varphi$  может быть  $90^\circ$  и  $120^\circ$ ) и выступающей закладной головкой (рис. 4.1).

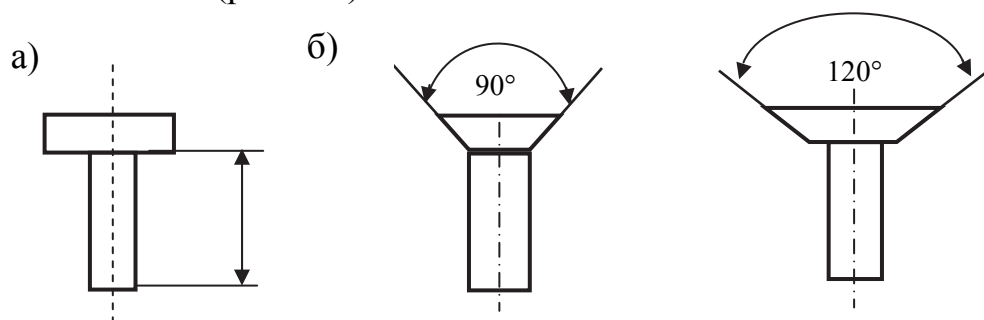


Рис. 4.1. Типы заклепок: а – с выступающей головкой; б – с потайной головкой

Заклепки изготавливают из легких алюминиевых сплавов марок В94, В65, Д18П, Д19П, АМц, Амг 5П, АД1; меди и латуни марок М2, Л62; сталей марок 20Г2, Х18Н9Т, стали 10, 15; титановых сплавов ОТ-4, ВТ-10.

Все заклепки по внешнему виду отличаются в зависимости от материала, из которого они выполнены. На рис. 4.2 показаны примеры внешнего вида заклепок и соответствующие им марки материала.

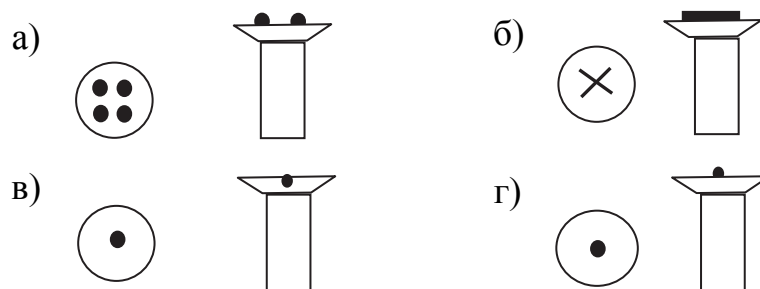


Рис. 4.2. Внешний вид заклепки и ее маркировка по марке материала: а – сплав АМц; б – сплав Д19П; в – сплав В65; г – сплав В94

Процесс клепки заключается в осаживании стержня заклепки и образовании замыкающей головки заклепки требуемой формы. Общая длина заклепки  $L$  для соединения пакета толщиной  $S$  (рис. 4.3) определится формулой

$$L = 1,3d + S,$$

где  $1,3d$  – припуск на образование замыкающей головки заклепки.

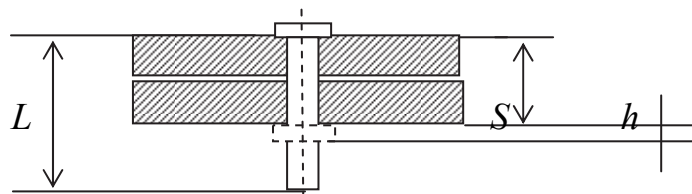


Рис. 4.3. Определение длины заклепки в зависимости от ее диаметра и толщины склепываемого пакета

Образование замыкающей головки заклепки происходит ударным или прессовым способом (рис. 4.4).

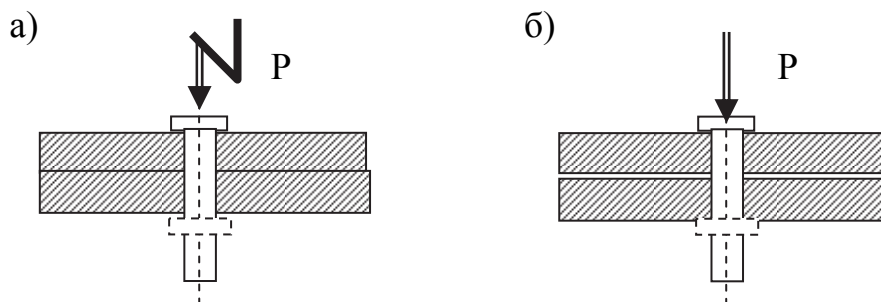


Рис. 4.4. Схемы клепки: а – ударной; б – прессовой

Ударная клепка выполняется с помощью пневмомолотка и поддержки за несколько ударов по головке заклепки. Поддержка выбирается в зависимости от мощности пневмомолотка.

Прессовая клепка характерна тем, что замыкающая головка заклепки формируется за один ход пресса при равномерном сжатии стержня заклепки постоянным усилием.

Для клепки применяют специальные бойки, рабочая поверхность которых бывает плоской или копирующей внешний контур заклепки.

Прессовая клепка бывает групповая и одиночная.

При групповой клепке за один ход пресса расклепывается несколько заклепок, а при одинарной клепке расклепывается одна заклепка.

Механизация, автоматизация и производительность процессов одиночной и групповой клепки в значительной мере зависят от оснащения их поддерживающими и транспортирующими устройствами, которые исключают необходимость поддерживать детали руками, облегчают установку изделия на прессе и улучшают качество клепки.

Клепка может быть прямая и обратная. Если боек пневмомолотка установлен со стороны закладной головки заклепки, то клепка – прямая; если со стороны замыкающей головки – то обратная.

Автоматизация и механизация клепальных операций ускоряют и удешевляют технологический процесс клепки. Например, стоимость прессовой одиночной клепки ниже ударной пневматическими молотками на 20 – 25 %, а групповой в 3 – 4 раза.

**Выносливость заклепочных соединений.** В самолетостроении важное внимание уделяется вопросу выносливости заклепочных соединений. Многолетняя практика эксплуатации и повторно-статических испытаний показала, что усталостные поломки планера в большинстве случаев (75 – 85 % всех поломок) начинаются в районе заклепочных и болтовых соединений.

В связи с этим появились заклепки с повышенной выносливостью и ресурсом. Повышение выносливости заклепки в соединении идет за счет создания больших диаметральных натягов и увеличения осевой стяжки пакета. То есть заклепка повышенной выносливости решает задачу заполнения отверстия под заклепку с натягом и получения равномерного поля напряжений в районе заклепочного соединения по всей толщине склепываемого пакета.

При передаче усилия по толщине соединяемых листов обшивки в зоне клепаного шва возникают неравномерно распределенные напряжения. Наиболее эффективным методом снижения неравномерности напряжений является упрочнение стенок отверстия. В процессе образования замыкающей головки заклепки стержень увеличивается в диаметре и упрочняет поверхность отверстия (рис. 4.5).

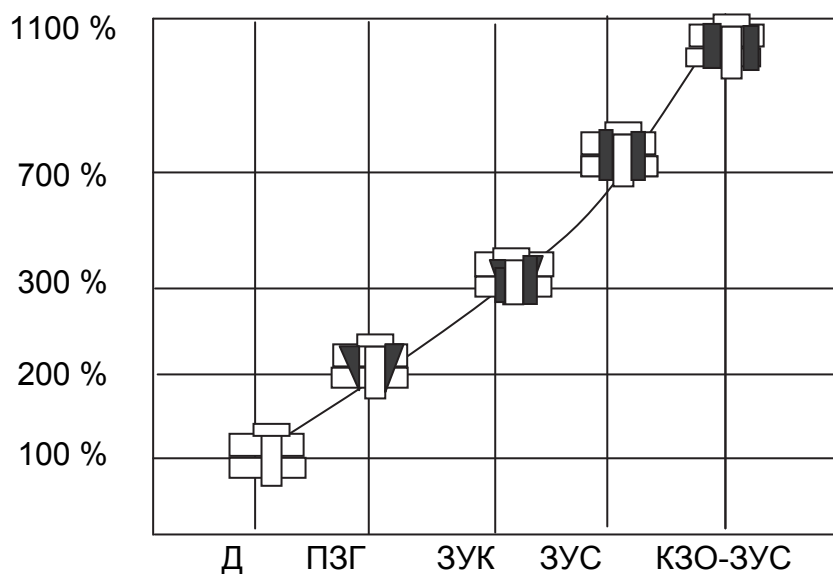


Рис. 4.5. Выносливость заклепочных соединений (зачерненные области – зона упрочнения отверстия)

При постановке обычных потайных заклепок Д упрочняется в основном лист со стороны замыкающей головки. Выносливость такой заклепки – 100 %.

Наиболее широко используются заклепки ПЗГ (потайная замыкающая головка), они дают повышение усталостной выносливости и долговечности до 200 %.

Клепка заклепками ПЗГ за счет заполнения гнезда отверстия дополнительным материалом позволяет избежать применения внутришовной герметизации на плоских рядовых швах. Но упрочнение отверстия идет только в зоне одного листа. Клепку ПЗГ нельзя рекомендовать для тонких обшивок (начинать рекомендуется с толщины обшивки 1,5...1,8 мм).

При применении заклепки ЗУК (усталостной с компенсатором) на поверхности закладной головки имеется бугорок-компенсатор, который при расклепывании позволяет лучше заполнять отверстие телом заклепки. Усталостная выносливость таких заклепок возрастает до 300 %, а упрочнение идет по обоим листам обшивок.

Заклепки стержневые ЗУС, дающие 700 – 800 % усталостной выносливости, создают натяг за счет стержня с потайной головкой. В этом случае получают практически полное выравнивание напряжений по обоим листам.

Наибольшую выносливость до 1100 % дают стержневые заклепки К30-ЗУС с предварительным сжатием листов подогреваемыми прижимами, но в этом случае требуется дорогое и сложное оборудование, поэтому такие заклепки, как правило, ставят только при ремонтных работах.

## **4.2. Способы герметизации клепаных швов и изделий**

Назначение герметизации – поддержание избыточного давления в кабинах, предотвращение утечки топлива, жидкостей или газов, защита отсеков и агрегатов от проникновения в них агрессивных жидкостей и газов и попадания воды во время дождя.

В пассажирских, грузовых самолетах и вертолетах герметизируются кабины, приборные и грузовые отсеки.

Утечка воздуха, газов или жидкостей в клепаных швах происходит через зазоры между заклепками и отверстиями в деталях или между контактными поверхностями листов обшивок.

Уменьшить или полностью устранить утечку можно путем нанесения герметизирующих материалов в зоны утечки или применять плотные посадки заклепок в отверстие.

Постановка заклепок с компенсатором и стержневых заклепок приводит к значительному повышению герметичности шва. Наибольший эффект герметичности достигается сочетанием плотной посадки заклепок с нанесением герметизирующих материалов (герметиков).

Герметики должны обладать следующими свойствами:

- иметь сцепление (адгезию) к соединяемым деталям не менее 0,98 МПа (9,8 кг/см<sup>2</sup>);
- не нарушать целостности герметизации и допускать взаимные перемещения соединяемых деталей, которые появляются при эволюциях самолета;
- иметь пластичность, т.е. сохранять герметизирующие свойства при перепадах давления, деформациях шва, воздействии высокой и низкой температур;
- не оказывать вредного воздействия на людей;
- не вызывать коррозионные процессы в зоне герметизации.

Герметики выпускают в виде пастообразной массы, растворов, жидкостей, пленок, лент и тканей, пропитанных герметиком.

Важное свойство герметика – его жизнеспособность – время, в течение которого герметик сохраняет требуемые адгезионные свойства до нанесения его на поверхности деталей. Это время – не более 6...12 ч.

В самолето- и вертолетостроении применяют большое количество разнообразных герметиков. Их условно можно разделить на два класса:

- 1) эксплуатируемые при температуре от -60 до +300 °С при скоростях полета  $M = 2 - 3$  (герметики марок ВГФ, У-2-28);
- 2) эксплуатируемые при температуре от -70 до +130 °С с околозвуковыми скоростями полета (герметики марок У-30М, УТ-32, ВТУР, У-30мэс-5, ВИТЭФ, ВИКСИНТ).

Существуют три варианта герметизации:

1) **внутришовная** – герметик прокладывается между соединяемыми деталями (рис. 4.6, а). При использовании внутришовой герметизации вначале предварительно собирают изделие, затем разбирают его, чтобы удалить стружку от сверления отверстий, затем герметизируют изделие, и затем проводят окончательную сборку. Такие приемы в значительной степени усложняют и удлиняют процесс сборки изделия;

2) **поверхностная** – герметик наносится на внешние поверхности соединяемых деталей (рис. 4.6, б). При применении поверхностной герметизации изделие вначале собирают, потом проводят процесс герметизации. Такой вид герметизации имеет наименьшую трудоёмкость и цикл сборки;

3) **смешанная** или **комбинированная** (рис. 4.6, в), которая сочетает внутришовную и поверхностную герметизации. Смешанный способ герметизации является наиболее трудоемким и дорогим, применяется главным образом при изготовлении топливных баков и отсеков, к которым предъявляются повышенные требования по герметизации.

При смешанной герметизации, как правило, применяют вначале внутришовную герметизацию, затем поверхностную, а потом герметизацию поливом. Например, суммарная трудоёмкость трех типов герметиза-

ции бака-кессона крыла составляет 180 ч, а с суммарной подсушкой каждого слоя герметика на воздухе или в печи – 230 ч. Общая трудоёмкость изготовления бака-кессона составляет примерно 410 ч.

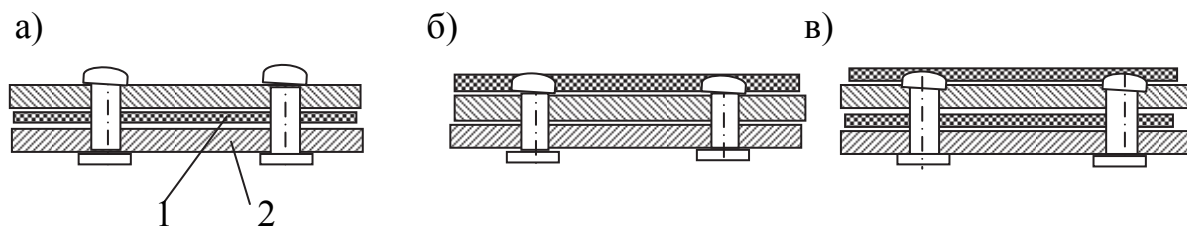


Рис. 4.6. Способы герметизации:  
1 – герметик; 2 – соединяемые листы

Нанесение герметика на поверхность может быть выполнено:

1) укладкой ленты или ткани, пропитанной герметиком. Ленту нарезают по ширине шва с припуском 1,5 мм на каждую сторону. Укладка идет вручную. На чертежах способ укладки лентой обозначают индекс Л, например, герметик У-20А (Л);

2) шпателем или шприцом. На чертежах указывают индекс Ш;

3) кистью (присваивается индекс К и указывается, сколько слоев герметика нанесено кистью, например У-30мэс-5/(К) – три слоя);

4) поливом, окунанием и с помощью пульверизатора (присваивается индекс П с указанием числа слоев нанесенного герметика).

Технологический процесс герметизации включает следующие **операции**:

1) обезжиривание поверхностей деталей и заклепок (промывкой или пропиткой их бензином Б-70 или специальными растворами ОП-7, ОП-10);

2) нанесение герметика на поверхность шва одним из перечисленных способов. Например, при поверхностной герметизации поливом топливного отсека внутрь объема наливают небольшое количество жидкого герметика, отсек устанавливают в специальное приспособление, которое вращается со скоростью 0,052...0,105 рад/с. При вращении герметик под действием центробежных сил разливается тонким слоем по внутренней поверхности отсека. Оставшийся (не прилипший к стенкам) герметик сливается из отсека, а образовавшаяся на его внутренней поверхности слой-пленка просушивается. Для качественной герметизации рекомендуется наносить не менее трёх – пяти слоев. Просушивается каждый слой не менее 20...30 мин. Пленка герметика просушивается инфракрасными электролампами, горячим воздухом или сухим паром;

3) термическую обработку некоторых марок герметика (например, ТГ-18). Для герметизации изделие помещают в специальные нагревательные печи или установки, в которые подается горячий воздух. Но можно применять и герметики холодного отверждения. Отверждение идет 12...24 ч;

4) контроль качества герметизации всего изделия.

Контроль качества герметичных изделий проводят следующими методами:

- 1) созданием вакуума на испытуемом участке клепаного шва;
- 2) нагнетанием в контролируемое изделие сжатого воздуха или сжатого воздуха в смеси с другими газами (например, аммиаком, фреоном);
- 3) заливкой топлива (керосина) в герметичное изделие при испытании его на герметичность;
- 4) галоидным методом.

При первом способе изделие помещают под прозрачный колпак. На заклепочные швы наносят смесь из мыла и воды. Из колпака выкачивают воздух. По вздутию мыльных пузырей на участках шва определяют места утечки воздуха.

Суть второго способа контроля сжатым воздухом заключается в определении времени, в течение которого давление в герметичной кабине падает от начального  $P_{нач}$  до конечного  $P_{кон}$ .

Допустимый перепад давлений  $\Delta P$  зависит от назначения кабины и условий её эксплуатации. Например, перепад давлений должен составлять  $\Delta P = 0,04 \dots 0,07$  МПа при  $P_{нач} = 0,15 \dots 0,18$  МПа и  $P_{кон} = 0,11$  МПа. Время снижения давления от  $P_{нач}$  до  $P_{кон}$  должно быть не более 1 ч.

Следует заметить, что испытание кабин методом сжатого воздуха позволяет определить общую степень её герметизации, но не дает возможность установить места утечки воздуха. Для этой цели необходимо применить сжатый воздух в смеси с другим газом (например, аммиаком, который должен составлять по объему не более 1 % к объему кабины).

В этом случае на испытываемые швы накладывают бумагу, пропитанную 50%-м раствором азотной кислоты, которая в местах утечки воздуха и аммиака покрывается темными пятнами.

Топливные отсеки проверяют на герметичность заливкой в них керосина. Перед испытанием заклепочные швы топливного бака покрывают снаружи раствором мела в воде и просушивают. В отсек подается давление. Если есть утечка керосина, то на заклепочных швах образуются темные пятна.

Кроме того, для контроля герметичности применяют различного вида течеискатели, которые позволяют более точно оценить качество герметичности.

Проверяемое изделие заполняют смесью из сжатого воздуха и фреона. Клепаные швы проверяют щупом течеискателя, а по шкале прибора наблюдают за утечкой газа. Скорость перемещения щупа течеискателя – 0,33 мм/с. Галоидный метод контроля герметичности обладает высокой чувствительностью. В случае обнаружения утечки необходимо провести дополнительную герметизацию, установить заклепки большего диаметра или нанести дополнительный слой герметика.



### 4.3. Основные сведения о паяных соединениях и припоях

**Пайка** – процесс неразъемного соединения деталей, при котором происходит растворение припоя и диффузия его в соединяемый материал.

При пайке основной металл не расплавляется, что позволяет сохранить его структуру, химический состав, механические свойства. Температура плавления невысокая, поэтому больших температурных напряжений не возникает, что позволяет сохранить заданную форму, размеры и гладкость поверхности деталей.

Пайка применяется в самолетостроении:

- при сборке узлов и панелей с различными заполнителями;
- выполнении неразъемных соединений трубопроводов;
- выполнении соединений электропроводов.

Для более качественной пайки применяют припои и флюсы. Качество пайки зависит от видов применяемых припоев и флюсов. Припой служит для соединения листов или деталей. Применяемые флюсы ограничивают доступ атомарного кислорода и водорода из воздуха в зону пайки и предупреждают разрыхление поверхностного слоя металлов.

Различают три типа флюсов:

- 1) твердые флюсы в виде различных солей буры и борной кислоты;
- 2) флюсы в виде газов метилбора или фтористого бора;
- 3) флюсы – инертные газы (аргон, гелий).

После пайки твердыми флюсами с поверхностей деталей необходимо тщательно удалить остатки флюсов, так как даже эти остатки могут вызвать коррозию поверхности паяного шва.

Если в качестве флюса использован инертный газ, то коррозии металлов нет.

При выборе припоя учитывают температуру плавления припоя, смачиваемость поверхностей соединяемых деталей, свойства капиллярности, растекаемости припоя по поверхности деталей и другие свойства.

Припои условно можно подразделить на три группы:

- 1) **мягкие** с температурой плавления до 400 °С и прочностью на разрыв  $\sigma_b = 5 \dots 7 \text{ кг/мм}^2$ ;
- 2) **твердые легкоплавкие** с температурой плавления от 400 до 900 °С и прочностью на разрыв  $\sigma_b = 50 \text{ кг/мм}^2$ ;
- 3) **твердые тугоплавкие** с температурой плавления выше 900 °С и прочностью на разрыв  $\sigma_b = 50 \text{ кг/мм}^2$ .

К первой группе припоев относятся оловянисто-свинцовые припои, малооловянистые легкоплавкие припои, сплав Вуда, припои с добавкой сурьмы. Типовые марки таких припоев ПОС-40, ПОСС 4-6. Припои первой группы идут для пайки электропроводов и радиоаппаратуры.

Первую группу припоев используют также для пайки меди, латуни, свинца, железа – в этом случае в припой добавляют висмут, кадмий, которые снижают температуру плавления припоев.

Ко второй группе относятся припои, имеющие в своем составе серебро от 10 до 35 %, а также алюминий, медь, кремний, цинк – это припои марок ПСр 12К, ПСр 25, ПСр 85-15 (серебряные), ПМЦ-54 (медно-цинковый), 35А (с добавкой алюминия).

Эти припои используют для пайки деталей и узлов из жаропрочных, нержавеющей стали, никелевых радиаторов, патрубков, пайки меди, бронзы, лужения стали. Эту группу припоев используют для силовых деталей, которые не подвергаются ударам.

К третьей группе припоев относятся медно-никелевые припои, содержащие жаропрочные и серебряные добавки. Это тугоплавкие припои марок ПЖ-45-81, ВПр 1, ВПр 2. Эта группа припоев идет на пайку трехслойных панелей, соединение обшивок между собой. Пайка, как правило, идет в среде нейтральных газов. Припой поставляется в виде листов фольги толщиной 0,010...0,015 мм.

Нагрев припоя и соединяемых деталей, как правило, проводят до температуры, на 10...15 °С превышающей температуру плавления припоя. Различные способы нагрева для пайки приведены на рис. 4.7.



Рис. 4.7. Способы нагрева при пайке

Типовой технологический процесс пайки включает следующие операции:

- подготовку поверхностей соединяемых деталей к пайке (зачистку от грязи, заусенец, жира, ржавчины и т.п.);
- установку элементов и припоя в сборочное положение, фиксацию;
- подачу флюса в зону пайки;
- нагрев до температуры расплавления припоя;
- пайку соединяемых деталей;
- контроль качества готового изделия.

#### **4.4. Общая характеристика клеевых соединений**

В самолетостроении клеевые соединения находят широкое применение: успешно склеивают детали, узлы, агрегаты с прямолинейными и криволинейными швами при самом различном сочетании марок материалов (для получения гладкой обшивки, в агрегатах оперения, элеронах, щитках, закрылках, клеевых панелях).

Широкое применение склеивания панелей и узлов стало возможным благодаря созданию высокопрочных и водостойких клеев, механизации и автоматизации операций склеивания.

Клеевые соединения, по сравнению с заклепочными, обладают рядом преимуществ:

- меньшим весом шва;
- высокой гладкостью обтекаемых поверхностей;
- возможностью соединения разнородных материалов;
- лучшей герметичностью шва;
- высокой коррозионной стойкостью;
- отсутствием шума и вибраций при сборке и склеивании.

Но клеевые соединения имеют и недостатки:

- склонность к старению с течением времени (падение прочности в результате возникающих в клее необратимых процессов);
- необходимость применять нагрев при склеивании для получения высококачественного клеевого шва;
- токсичность большинства марок клеев;
- удлинение производственного цикла за счет пассивных операций сушки и выдержки, длящихся часами и даже сутками.

При выполнении клеевых соединений применяют клеи, изготовленные на основе термопластичных и терморезактивных полимеров.

Термопластичные клеи имеют небольшую теплостойкость (до 80...90 °С) и невысокую прочность.

Терморезактивные клеи имеют большую прочность и теплостойкость до 350 °С.

В зависимости от температуры склеивания клеи разделяют на две группы:

1) склеивающиеся без подогрева (можно применять и подогрев до температуры 60...120 °С для ускорения процесса склеивания) – это клеи ПУ-2, ВК-5, ВИАМ-БЗ; Эпоксид 1, К-153;

2) склеивающиеся с подогревом – это клеи ВК-32-200, ВК-3В, ВС-10Т, Эпоксид, ВК-51, ВК-39.

По теплостойкости клеи разделяют на четыре группы (следует заметить, что для второй и третьей групп деление условное) (табл. 4.1).

Таблица 4.1

#### Классификация клеев

Номер группы	Интервал рабочих температур	Марки клеев
1	Длительное воздействие до 60...80 °С	БФ-2, Л-4, ФЛ-4С, МПФ-1, ПУ-101, К-153
2	Длительное воздействие до 100...150 °С	Эпоксид П и Пр, ВК-1, ВК-9
3	Длительное воздействие до 200...350 °С	ВК-4, ВК-32-200, ВК-32-ЭМ, ВС-10Т, ВК-3, ВК-25, ВК-39, ВК-51, ВИАМ-БЗ
4	Кратковременное воздействие до 700...1200 °С, длительное воздействие до 350...450 °С	ВК-2, ВК-8, ВК-10, ВК-28, ВК-15, ВК-18
Примечание. Аббревиатура клеев: ВК – эпоксифенольно-каучуковые, МПФ – метилполиамидные, ПУ – полиуретановые, ВИАМ-БЗ – фенольно-формальдегидные, ВС-10Т – фенольно-поливинилацетатные.		

В конструкции самолетов и вертолетов с помощью высокопрочных клеев проводят:

- соединение листовых обшивочных материалов между собой по длине, ширине, толщине;
- соединение отрезков труб;
- соединение обшивки с элементами жесткости: стрингерами, нервюрами, лонжеронами, шпангоутами, гофром;
- соединение обшивки с пенопластом (неармированным и армированным);
- соединение обшивок с сотовым наполнителем, элементов сотового наполнителя между собой, соединение законцовок панелей с сотовым наполнителем;
- уплотнительные соединения.

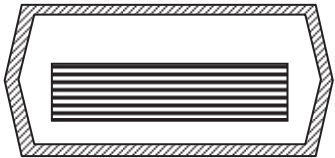
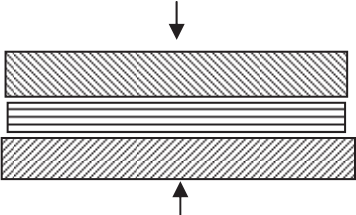
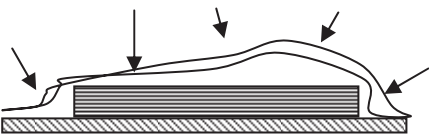
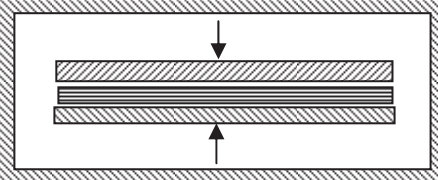
Различают следующие способы склеивания:

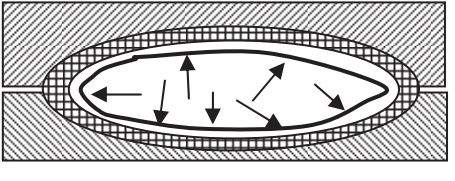
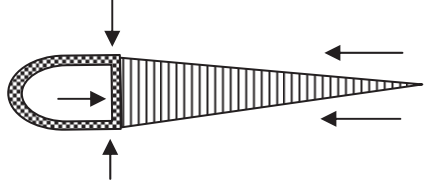
- склеивание в автоклавах (в специальных устройствах, в которых автоматически поддерживаются требуемое давление  $p$ , температура отверждения  $T$ , °С, и время выдержки  $\tau$  при температуре отверждения);
- склеивание под прессом (при механическом давлении, температуре отверждения и времени выдержки);
- склеивание в электрических печах под вакуумом;
- склеивание в электрических печах под механическим давлением;
- склеивание в электрических формах под пневматическим давлением (например, получение лонжерона лопасти из стеклопластика);
- склеивание под вакуумом при нормальной температуре.

**Основные операции при выполнении клеевых соединений.** Особое значение для обеспечения высокого качества, надежности и повышения ресурса клеевых соединений имеет четкое соблюдение технологических режимов склеивания и вспомогательных операций. Способы склеивания приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Способы склеивания изделий и деталей

Способ склеивания	Схема процесса склеивания	Примечание
1	2	3
1. В автоклавах		Автоматически идет процесс отверждения, фиксируются давление, температура, время
2. Под прессом		Создают давление прессования при нормальной или повышенной температуре
3. Под вакуумом с подогревом изделия и без подогрева		В электрических воздушных печах или при нормальной температуре
4. В электрических воздушных печах с подогревом изделия и без подогрева		При создании механического давления на изделие

1	2	3
5. В пресс-камерах: подогреваемых или без подогрева		При создании внутри изделия пневматического давления резиновой оболочкой
6. В стапелях с обогревом электричеством, горячим воздухом или паром		Под механическим или пневматическим давлением

Технологический процесс склеивания состоит из следующих операций:

- подготовки поверхностей деталей под склеивание;
- нанесения клея на склеиваемые поверхности и подсушки клея;
- сборки и фиксации соединяемых деталей;
- формования и отверждения клея;
- контроля качества выполненного соединения.

Подготовка поверхностей склеиваемых деталей имеет исключительное и часто решающее значение для получения шва высокого качества.

**Подготовка поверхностей** включает операции:

1) механической обработки поверхности в местах нанесения клея (зачистка шкуркой, наждачной бумагой для увеличения площади поверхности склеивания без изменения геометрии изделия). Основной задачей при этом является устранение возможных причин, препятствующих хорошей адгезии (сцеплению) клеев к склеиваемым поверхностям;

2) очистки поверхности от масляных пятен и ржавых загрязнений;

3) обезжиривания органическими растворителями;

4) травления поверхности в водных растворах солей и кислот;

5) нанесения перед склеиванием защитных покрытий и грунтовок;

6) нанесения слоев клея.

Алюминиевые сплавы перед склейкой протравливают в растворе серной кислоты и бихромата натрия, анодируют в серной и хромовой кислоте.

Для склеивания сталей применяют цинкование и кадмирование.

Магниевые сплавы перед склейкой протравливают подогретой до 80 °С концентрированной до 30 % азотной кислотой.

Нержавеющие стали обрабатывают в смеси различных кислот и солей (серной кислоты и двуххромовокислого натрия или смеси фтористоводородной и азотной кислот).

Поверхности титановых сплавов перед склеиванием анодируют или обрабатывают в растворе концентрированной серной кислоты и бихромата натрия.

Поверхности для склейки деталей из меди, цинка, кадмия, латуни, свинца и других цветных металлов обрабатывают наждачной бумагой или гидropескоструйным аппаратом с последующим обезжириванием органическими растворителями или водным высокощелочным раствором из поверхностно-активных веществ ОП-7, ОП-10.

После подготовки поверхностей клей должен быть нанесен не позднее 6...8 ч.

Толщина нанесения клея существенно влияет на прочность соединения. Например, если прочность соединения на срез при толщине клеевой пленки, равной 0,25 мм, принять за 1,0, то при увеличении толщины клея до 4,0 мм прочность клеевого шва на срез падает в 10 раз. Клеевой слой должен быть ровным, без бугорков и выемок. Несоблюдение этих условий приводит к непрочности участка шва или утолщению (утонению) клеевого слоя.

После нанесения клея проводят его подсушку, которая проходит в два этапа: на первом этапе дается выдержка клею – для удаления летучих веществ (разбавитель, растворитель и другие летучие компоненты), на втором – проводят нагрев при сравнительно небольших температурах (45...90 °С) в термopечах примерно в течение 1 ч.

Клей считают подсушенным, если он доведен до состояния отлипа (при касании клея пальцами на них не остается следов клея).

**Сборка склеиваемых деталей** осуществляется по разработанной технологии в специальном СП.

**Отверждение клея** проходит при определенной температуре отверждения, давлении прессования (от 0,1 до 0,7 МПа) и выдержке соединяемых деталей в течение нескольких часов. Температура отверждения для каждого клея различна. Клеи бывают холодного отверждения и горячего отверждения, при этом температура склеивания – отверждения варьируется от 80 до 175 °С в зависимости от марки клея.

Для качественного склеивания необходимо определенное время выдержки при температуре отверждения и давлении. Это время выбирается в зависимости от марки клея, типа клея (холодного или горячего отверждения) и варьируется в пределах от 1,5 до 24 ч.

Для окончательного отверждения клей выдерживают без давления при нормальной температуре, при этом время выдержки в два раза больше, чем при температуре отверждения.

Затем изделие вынимается из приспособления, зачищается от потеков клея, загрязнений и передается на контроль.

На *контроле* проверяется прочность клеевого шва на срез и отдир, а также на отсутствие непроклеев по всей зоне клеевого шва. Прочность на срез и отдир определяют в заводских лабораториях разрушением клеевого шва на образцах деталей. Зоны непроклея, пустоты, вздутия определяют методом неразрушающего контроля полученного изделия акустическим импедансным методом.

#### 4.5. Общая характеристика резьбовых соединений

При сборке узлов, агрегатов планера, стыковке отсеков и агрегатов, при установке приборов, механизмов, оборудования применяют резьбовые соединения, которые выполняются с помощью болтов, винтов, шурупов, шпилек, болт-заклепок. С помощью резьбовых соединений соединяют стыки и разъемы агрегатов и отсеков; листы обшивок и части монолитных панелей; собирают тяги управления и трубопроводные системы.

Объем работ с применением резьбовых соединений достаточно высок. Например, в магистральном самолете использовано до 104 000 болтов диаметром от 6 до 30 мм.

В последнее время уделяют большое внимание *увеличению выносливости* болтового соединения. Для увеличения выносливости может быть использован один из путей:

1) создают местное утолщение соединяемых элементов конструкции, при этом действующие напряжения снижаются (рис. 4.8). Но этот путь ведет к увеличению веса конструкции, что нежелательно;

2) увеличивают диаметральный натяг соединения и упрочняют поверхности отверстий. При упрочнении внешние слои отверстия становятся более прочными, что способствует уменьшению амплитуды колебаний растягивающих напряжений за счет сжимающих напряжений, вызванных упрочнением;

3) увеличивают осевую стяжку пакета за счет прижимов и затяжки болтов, при этом создаются повышенные силы трения в плоскости соединения, тем самым разгружается собственно болтовое соединение.

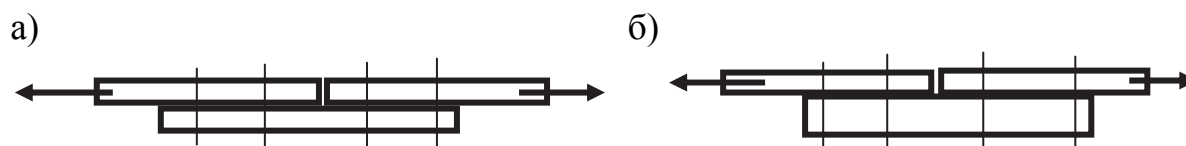


Рис. 4.8. Местное утолщение соединяемых элементов:  
а – обычное; б – выносливое

Второй и третий пути увеличивают герметичность соединения и уменьшают возможность появления фреттинг-коррозии.



Процесс выполнения разъемного резьбового соединения состоит из следующих операций:

- образования отверстий под болты;
- обработки отверстия;
- посадки болтов в отверстие;
- затяжки болтов;
- контроля выполнения соединения.

От качества образования отверстий зависят степень взаимозаменяемости, жесткость соединения и длительность его работы.

Сверление и рассверливание отверстий при сборке производится специальным переносным инструментом (дрелью по накладным кондукторам, по имеющимся отверстиям или по разметке).

Отверстия для болтов в зависимости от требуемой точности **развертываются** или **разделяются**.

Развертывают отверстия последовательно несколькими развертками вручную при помощи трещеток или воротков, а при машинном способе – тихоходными пневматическими дрелями. Процесс развертывания отверстий при помощи разверток очень трудоемок (например, при диаметре 10 мм трудоёмкость составляет 6,2 мин) и хорошо выполняется только квалифицированными рабочими.

Разделка отверстий способом протягивания – процесс более производительный. Предварительно просверленное отверстие разделяется на специальных пневмо- и гидравлических прессах за один рабочий ход протяжки (140 мм). При этом облегчается труд рабочих, обеспечивается требуемая точность и чистота поверхности при увеличении производительности труда в 10 раз.

Если необходимо, то проводят дорнование (дорнирование) отверстия, т.е. упрочнение поверхностных слоев отверстия. Для этих целей применяют специальный инструмент – дорн (цилиндр, по окружности которого расположены вращающиеся цилиндрики меньшего диаметра) (рис. 4.9).

Посадку (постановку) болтов в отверстия проводят либо с зазором – при работе болтов на растяжение (фланцевый стык, соединение трубопроводов, тяг-тандеров), либо с натягом – при работе болтов на срез (гребенка, соединение обшивок).

С технологической точки зрения желательно применять посадки с зазором – это снижает затраты на изготовление болтов, обработку поверхности, сборку.

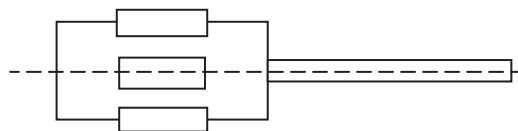


Рис. 4.9. Схема дорна для упрочнения отверстий

Но с точки зрения прочности и выносливости свободные посадки и посадки с зазором нежелательны, так как при этом увеличиваются неравномерность распределения усилий по болтам и концентрация напряжений возле отверстий.

Характер посадки не оказывает влияния на прочность соединения при статических нагрузках, но в значительной мере влияет на жесткость и выносливость болтового соединения.

При посадке болтов в отверстие с натягом применяют специальные приспособления. Одним из эффективных методов повышения ресурса болтовых соединений является постановка болтов в отверстия с упругопластическим натягом.

Ресурс болтовых соединений, в которых болты установлены с упругопластическим натягом, выше в 1,5 – 3,5 раза, чем ресурс болтовых соединений с зазором.

При посадке с небольшим натягом охлажденный болт ставят в отверстие ударом молотка, но возможны перекося болта и деформация отверстия, и болта.

При посадках со средним и большим натягом применяют запрессовку переносным прессом, имеющим направляющие втулки для центрирования болта относительно отверстия. При этом существует возможность повреждения поверхности болтов и отверстий. Чтобы избежать этого, болты перед посадкой в отверстие охлаждают в специальных холодильных камерах или холодильниках.

В соединении, работающем на срез, нагрузка воспринимается площадью болта по плоскостям среза. Кроме того, развиваются силы трения по контактными поверхностям соединяемых листов.

В зависимости от характера посадки болтов в отверстие различают два предельных случая нагружения болта на срез:

- **с натягом**, когда нагрузка в основном передается через болт, вызывая в нем напряжение среза;
- **с зазором**, когда нагрузка на болт передается через плоскости среза, вызывая в болте растягивающие напряжения.

Величина предельной растягивающей нагрузки  $P_{\text{пред}}$  в болте ограничивается прочностью материала болта

$$P_{\text{пред}} \leq \kappa \sigma_T \phi_b,$$

где  $\kappa = 0,2 \dots 0,5$  – коэффициент, характеризующий запас прочности болта;  $\sigma_T$  – предел текучести материала;  $\phi_b$  – площадь поперечного сечения болта.

Для болтов, работающих на растяжение, для увеличения выносливости необходимо создать усилие **предварительной затяжки**, чтобы не нарушить герметичность соединения.

**Затяжка болтов в случае работы болтов на срез и на растяжение** значительно отражается на жесткости и выносливости соединения.

На практике применяют тарировочные пневматические ключи или гайковерты. При достижении требуемого крутящего момента ключ прощелкивает, и далее усилие затяжки не растет.

#### 4.6. Общая характеристика сварных соединений

**Сварка** – процесс получения неразъемного соединения, при котором соединяемые части нагреваются до температуры плавления или до температуры пластического состояния металла с одновременным вводом электродов в зону сварки и приложением механического давления.

Преимущества сварки перед другими неразъемными соединениями:

- 1) уменьшение веса изделия, особенно по сравнению с клепаными соединениями;
- 2) возможность получения высоких прочностных характеристик сварного шва;
- 3) возможность создания герметичности соединения без дополнительных герметизирующих материалов.

Наиболее широкое применение в самолетостроении получили:

- 1) аргонодуговая электросварка плавящимся электродом (ДЭСАр);
- 2) дуговая автоматическая под слоем флюса (ДЭСФ);
- 3) дуговая ручная плавящимся электродом;
- 4) электроконтактная точечная (ТЭС) или роликовая;
- 5) электронно-лучевая;
- 6) сварка световым лучом;
- 7) плазменной дугой в импульсном режиме автоматической сварки;
- 8) диффузионная сварка керамика – металл.

Технологический процесс сварки включает комплекс операций:

- 1) **вспомогательные**: подготовка деталей к сварке, правка их после сварки, удаление флюса с поверхности деталей (химической или механической очисткой), подготовка свариваемых поверхностей и кромок деталей, термообработка узла после сварки, очистка от окалины, нанесение покрытий на зоны сварного шва. Кромки свариваемых деталей и узлов должны обрабатываться в зоне сварки на расстоянии не менее 10...20 мм от зоны шва. После подготовки свариваемые кромки не должны иметь пор, раковин, забоин, заусенцев и вмятин;
- 2) **сборочные**: установка деталей в СП, их фиксация, прихватка;
- 3) **сварочные**: подбор режимов сварки, получение сварного шва, правка длинных швов в процессе сварки;
- 4) **контрольные**: пооперационный и окончательный контроль, контроль режимов сварки, качества сварки, электродов и флюсов.

Содержание типовых операций сварки приведено в табл. 4.3.

Таблица 4.3

## Операции при получении сварного шва

Наименование операций	Содержание операций
Подготовка поверхности кромок деталей к сварке	Травление Гидропескоструйная обработка кромок Механическая зачистка кромок Контроль
Сборка и прихватка деталей в приспособлении	Установка в приспособление Прихватка. Правка. Контроль
Доработка узла после прихватки	Правка Контроль
Сварка узла	Подбор режимов сварки Сварка шва за несколько проходов Правка швов в процессе сварки Контроль
Правка деталей после сварки	Рихтовка Контроль
Термообработка после сварки	Термообработка Очистка от окалины
Удаление флюсов с поверхности швов	Механическая и химическая очистка
Контроль и нанесение покрытия	Контроль качества сварки Нанесение покрытия

Малоуглеродистые, низко- и среднелегированные стали рекомендуются сваривать в углекислом газе. Нержавеющие стали можно сваривать в углекислом газе и в смеси углекислого газа с аргоном.

Жаропрочные никелевые сплавы требуют при сварке надежной защиты сварного шва.

При сварке используют присадочную проволоку и вольфрамовые электроды.

Прочность сварного шва в значительной мере зависит от качества подготовки деталей под сварку.

Обработку кромок деталей под сварку плавлением проводят на металлорежущих станках или вручную резакон и ножницами.

При расчёте размеров заготовок деталей учитывают припуски, которые необходимо оставлять на доработку изделий и компенсацию усадочных деформаций после сварки.

При подготовке кромок необходимо соблюдать условия:

- отклонения от прямолинейности кромок до 0,5 мм;
- отклонение по углу разделки кромок  $\pm 3^\circ$ ;
- допуск на величину зазора между деталями  $\pm 0,5$  мм.

Свариваемые поверхности после обработки кромок на ширине 50...60 мм по обе стороны очищают от загрязнений обдувкой песком, обработкой наждачными кругами, металлическими щетками или химическими составами.

При подготовке деталей к сварке из алюминиевых сплавов используют растворители: уайт-спирит, технический ацетон, высокощелочные составы ОП-7, ОП-10.

При сварке деталей из титановых сплавов необходимо снять газонасыщенный (альфированный) слой, содержащий атомарный кислород, водород воздуха. Затем детали обезжиривают органическими растворителями, промывают бензином марки Б-70, этиловым спиртом-ректификатом или ацетоном.

При сварке плавлением возникают нестабильные закалочные структуры и внутренние температурные напряжения в зонах шва, которые вызывают изменение размеров и формы всего изделия (искривление, поводку, скручивание).

Чтобы предупредить возникновение или уменьшить деформации и внутренние напряжения при сварке, применяют определенную последовательность операций (режим сварки), прокатывают роликом сварочный шов, пропускают импульсные электротоки в процессе сварки, накладывают ложные швы.

Для обеспечения качества и надежности сварных узлов применяются тщательно разработанные и широко применяемые **методы контроля**:

1) **активно-профилактический**, цель которого *предотвратить* возникновение дефектов и брака в ходе подготовки к сварке, в процессе выполнения сварного соединения;

2) **пассивно-окончательный**, цель которого *определить* качество, отсутствие дефектов в готовом узле; т.е. дать заключение о качестве готового изделия и возможности использования его в работе.

#### **Виды активно-профилактического контроля:**

- контроль качества материала (флюсов, электродов, газов, свариваемых материалов) в лабораториях завода;
- контроль подготовки поверхности, кромок свариваемых деталей, контроль обезжиривания поверхности и кромок;
- контроль технологического режима сварки.

#### **Основные виды пассивно-окончательного контроля:**

- внешний визуальный осмотр сварного шва с помощью лупы для обнаружения трещин, подрезов в металле;
- контроль формы, размеров и швов изделия по шаблонам и мерительным инструментам;
- контроль прочности шва по статическим испытаниям контрольных образцов (5 – 10 % от выпуска изделий);

- просвечивание сварных швов рентгеновскими лучами и сравнение полученного сварного шва с эталонными рентгенограммами;
- контроль гамма-лучами, позволяющий обнаружить дефект путем регистрации его на пленке;
- магнитный контроль сварного шва, основанный на использовании магнитного потока в намагниченном металле (по изменению распределения магнитного потока обнаруживают трещины, непровары, шлаковые включения);
- ультразвуковой контроль, основанный на использовании различий ультразвуковых колебаний в зоне сварного шва;
- люминесцентный контроль, основанный на применении люминесцирующих веществ, вводимых в зону шва в район предполагаемого дефекта;
- контроль герметичности закрытой емкости после сварки, проводимый газом, жидкостью или воздухом.

#### **4.7. Особенности выполнения клеезаклепочных и клееварных соединений**

Кроме чисто клеевых соединений в самолетостроении применяются комбинированные: клееварные, клеезаклепочные, клееболтовые.

Комбинированные соединения успешно сочетают все положительные качества заклепочных, болтовых, клеевых и сварных соединений и отличаются повышенной герметичностью, антикоррозионной стойкостью, высокой усталостной и ударной прочностью при длительной эксплуатации.

**Клееварные соединения** выполняют:

- при точечной сварке по слою жидкого или пастообразного клея;
- при точечной сварке по клеевой пленке;
- путем введения клея в зазор соединения после точечной сварки.

Для первого способа используется клеи типа ВК-32ЭМ, К-153, ВК-9, К-4С, ФЛ-4С, ВК-1. Клей должен быть достаточно жидким и выжиматься под давлением электродов, не препятствовать образованию сварной точки требуемого качества.

Изделие сваривается на обычных контактных точечных сварочных машинах после суточной выдержки клея, нанесенного в зоне сварного шва. При этом по сравнению с обычной сваркой уменьшается сила тока и увеличивается сварочное давление.

При втором способе пространство между соединяемыми элементами заполняется клеевой пленкой типа МПФ-1, ВК-32-200. На полосах пленки по трафаретам из тонкой металлической фольги пробиваются отверстия под сварные точки. Затем проводят точечную сварку.

При третьем способе вначале проводится сварка швов обычным способом с несколько увеличенным давлением электродов. Зазоры шва запол-

няются жидким клеем при помощи специального гидравлического шприца, затем проводят термическую обработку. Этот способ легко механизирован и пригоден для серийного производства. Применяют клеи типа КЛН-1, ВК-1МС, Л-4 холодного отверждения.

**Клеезаклепочные, клееболтовые соединения** выполняют двумя способами:

1) на изделие наносится клей так же, как и для склеивания, но в собираемых деталях предварительно просверливаются отверстия несколько меньшего диаметра, чем нужно. После полимеризации клея эти отверстия рассверливаются, зачищаются от стружки, в отверстия ставятся болты, заклепки и другие крепежные элементы;

2) на обезжиренные поверхности деталей наносят клей, но предварительную полимеризацию клея не проводят. Затем заклепки и болты ставятся как при выполнении обычных клепаных соединений.

После выполнения клепки проводят термообработку клея. Метод достаточно прост, но есть недостаток – неравномерность нанесения клеевой пленки в зоне шва.

Основные детали планера самолета выполняются из отечественных алюминиевых сплавов В-93, Д16Т, В-95, 1163Т, 1933Т и титановых ВТ6л и ВТ6.

## **5. СБОРКА УЗЛОВ ПЛАНЕРА САМОЛЕТА**

### **5.1. Типы технологических процессов сборки**

При проектировании технологических процессов сборки разрабатывают несколько видов техпроцессов:

2) **директивный**, который разрабатывается в ОКБ на стадии эскизного и рабочего проектирования; содержит перечень принципиальных положений, методов сборки, оснащения и оборудования, который в обязательном порядке должен быть соблюден и применен в серийном производстве;

3) **укрупненный**, который разрабатывается на заводе в серийном конструкторском бюро; содержит перечень и последовательность выполнения операций, перечень оборудования, приспособлений, инструментов при сборке, разряды рабочих и нормы штучного времени на изготовление изделия;

4) **рабочий**, который разрабатывается в производственных цехах серийного завода и отделах главного технолога; содержит детальную проработку последовательности сборочных операций элементов конструкции, их фиксацию, соединение между собой указанным в чертежах способом; установленные режимы работы, нормы времени, разряды рабочих, перечень применяемых инструментов и оборудования.

Разрабатывать директивный технологический процесс рекомендуется на основании технологической документации, включающей:

- схемы членения самолета или агрегатов на сборочные единицы;
- выбранный тип соединений между секциями и агрегатами;
- разработанные схемы сборки и метода сборки;
- способы базирования деталей, узлов;
- применяемые схемы увязки и средств обеспечения взаимозаменяемости по стыкам и разъемам;
- производственные инструкции на проектирование специальной оснастки.

После получения от ОКБ – разработчика чертежей, инструкций, директивных технологических процессов на сборку отдельных сборочных единиц технологи серийных заводов разрабатывают укрупненные и рабочие технологические процессы.

Перед технологами стоят задачи:

- определить степень технологического членения конструкции на сборочные единицы (или степень дифференциации);
- установить последовательность сборки узла, отсека и агрегата (составить схему сборки);
- выбрать метод и способы базирования для отдельных деталей сборочных единиц;
- определить содержание сборочных работ (перечень операций и переходов) и установить наиболее рациональную их последовательность;
- установить режимы сборки, нормы времени на выполнение каждой операции;
- разработать цикловой график сборки;
- разработать задание на проектирование сборочных приспособлений и специальных инструментов;
- разработать технические условия (ТУ) на поставку и сборку деталей, узлов, панелей, секций и агрегатов;
- разработать технологические планировки участков в сборочных цехах;
- составить перечень транспортных и подъемных средств, задействованных при сборке;
- оформить техническую документацию, комплектовочные ведомости на сборочные единицы, маршруты деталей, ведомости потребных нормалей.



## 5.2. Сборка клепаного лонжерона

Клепанные узлы и панели до настоящего времени остаются самыми надежными конструкциями, поэтому до 80 % всех сборных узлов выполняют с применением клепаных соединений.

К одним из самых ответственных узлов крыла самолета относится лонжерон. Сборка лонжерона может проходить по двум вариантам:

1) сборка лонжерона из подборок. Эта схема сборки применима в серийном производстве;

2) сборка лонжерона из деталей в одном, достаточно сложном СП. Такая схема сборки используется в опытном и индивидуальном производстве.

Рассмотрим вариант технологического процесса сборки клепаного лонжерона из подборок, предварительно собранных в специальных не-сложных приспособлениях.

Подборками лонжерона являются: стенка лонжерона *1*, собранная из секций, соединенных с помощью соединительных накладок; два пояса лонжерона *2*, собранных из фитингов с узлами навески к крылу и поясов-профилей. Стойки *3* с анкерными гайками крепятся на стенку лонжерона и увеличивают ее жесткость (рис. 5.1).

Предварительная сборка стенки из секций с накладками ведется в приспособлении. Базирование элементов идет по СО. СО выполнены в секциях стенки, накладках и в стойках.

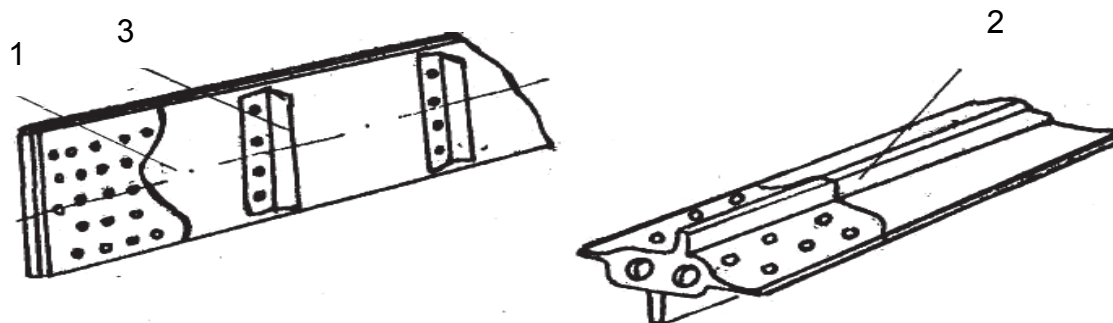


Рис. 5.1. Сборочные единицы лонжерона крыла

Стойки и стенки соединяются по СО и фиксируются технологическими болтами. Затем по НО в стойках совместно просверливают отверстия в стенке и проводят контрольную и рядовую клепку.

Пояса лонжеронов с фитингами-накладками собирают также в отдельном приспособлении, где тщательно фиксируют положение фитингов по плитам разъемов приспособления, а поясов-профилей – по ложементам приспособления, затем проверяют прилегание фитинга с профилем по плоскости соединения. При необходимости проводят припиловку плоскостей, ставят прокладки из фольги.

Затем через НО в фитингах сверлят отверстия в поясах-профилях, ставят заклепки и проводят клепку пояса лонжерона.

Собранные пояса и стенки поступают на сборку в приспособление общей сборки лонжерона (рис. 5.2).

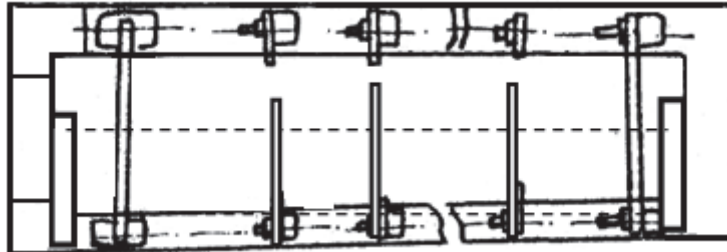


Рис. 5.2. Схема сборочного приспособления для лонжерона

Установку поясов проводят по ложеамтам приспособления. При этом фитинги торцами прижимаются к плитам приспособления макетными болтами.

Установку стенок на полки поясов ведут с базированием либо по СО. Положение стенки и пояса тщательно фиксируют. Используют прижимные рубильники. Затем проводят контроль правильности фиксации: плотность прилегания поясов к фитингу должна быть в пределах 0,5 мм; зазор между секциями стенок – 2,0 мм; зазор между торцами фитингов и плитами разъемов – не более 0,3...0,4 мм.

После фиксации лонжерона в стапеле проводят контрольное сверление и ставят контрольные заклепки, затем проводят рядовое сверление и рядовую клепку стенки с поясами.

После выполнения рядовой клепки лонжерон поступает на участок внестапельных работ, где проводится сверление и развертывание отверстий для болтов, сверление отверстий и клепка заклепок в неудобных труднодоступных местах, идет постановка различного рода мелких жестких узлов для крепления элементов управления, оборудования, ставятся анкерные гайки.

При значительной длине лонжерона учитывают температуру в помещении, где ведется сборка, так как в зависимости от воздействия температуры детали лонжерона, выполненные из алюминиевого сплава, и элементы СП, выполненные из стали, могут увеличивать или уменьшать свои размеры, что для длинных изделий приводит к большим неточностям сборки. Например, при сборке лонжерона из алюминиевого сплава длиной 15 000 мм в стапеле с элементами из стали из-за разницы в коэффициентах температурных линейных расширений стали и алюминиевого сплава длина собранного лонжерона составит 15 002,54 мм. Такая погрешность является выше допустимой.

Чтобы скомпенсировать погрешность сборки от температурных изменений собираемого узла и СП, одна из базовых плит СП выполняется *подвижной* и перемещается по специальной направляющей, имеющей температурную линейку-шкалу, с помощью которой вносят поправку на длину лонжерона в зависимости от температуры (от +6 °С до +50 °С).

Блок-схема сборки клепаного лонжерона из подборок представлена на рис. 5.3. Из схемы следует, что вначале лонжерон собирают в стапеле из деталей, которые уже обработаны в окончательные размеры, со СО и НО в деталях. Затем лонжерон поступает на участок внестапельной сборки, затем на контроль.

Если необходимо сборку клепаного узла провести с применением герметизации, то трудоёмкость и цикл сборочных работ узла увеличиваются в 1,5 – 2,5 раза в зависимости от типа применяемой герметизации. При применении герметизации узла в операции сборки необходимо включать операции по предварительной сборке-разборке узла, обезжириванию поверхности в местах нанесения герметика, подсушку поверхности, нанесение герметика, проведение процесса герметизации, окончательная сборка.



Рис. 5.3. Схема сборки клепаного лонжерона

Если применяют смешанную герметизацию, то процессы обезжиривания поверхности, нанесения герметика, герметизации применяют столько раз, сколько видов герметизации используют. Типовые этапы сборки клепаного узла с применением внутришовной герметизации приведены на рис. 5.4.

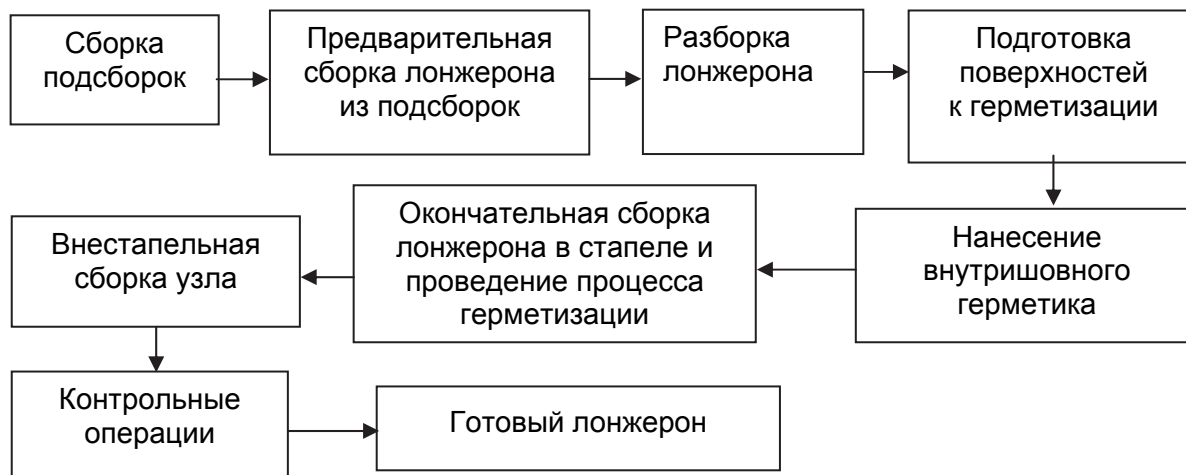


Рис. 5.4. Вариант сборки узла с внутришовной герметизацией

Сократить трудоёмкость сборки с герметизацией и время выдержки при отверждении герметика можно, применяя механизацию сборочных работ и принудительную сушку слоев герметика, путем нагрева его горячим воздухом, электрическим способом, сухим паром и т.д.

### 5.3. Сборка трехслойных паяных панелей

Трехслойные паяные панели с сотовым наполнителем используются в высокоскоростных самолетах, так как при сверхзвуковых скоростях полета обшивки испытывают высокотемпературный аэродинамический нагрев. Например, при скорости полета  $M = 2,2$  разогрев обшивки носовой части фюзеляжа доходит до температуры  $220...230\text{ }^{\circ}\text{C}$ , т.е. до температуры, когда алюминиевые сплавы резко уменьшают свою прочность.

Трехслойные конструкции с сотовым наполнителем отличаются от подкрепленных монослойных панелей повышенной жесткостью (табл. 5.1) и выносливостью при меньшем весе (удается снизить вес на 26 – 50 %).

**Трехслойные конструкции** состоят из двух тонких несущих обшивок и сравнительно толстой легкой сердцевины-наполнителя, разделяющей несущие пластины и распределяющей нагрузку между ними.

Сотовые наполнители могут быть с различной конфигурацией ячеек (рис. 5.5).

Таблица 5.1

## Сравнительная оценка сотовых конструкций по жесткости

Схема панели	Относительная плотность $\rho$	Относительная жесткость $\gamma$
	1,0	1,0
	1,08	7,4
	1,09	39,0

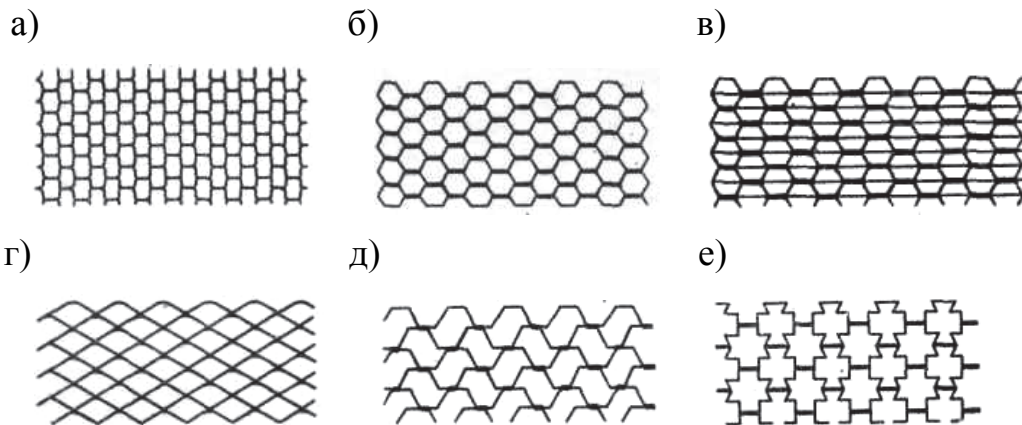


Рис. 5.5. Схема форм ячеек сотовых заполнителей: а – прямоугольная; б – шестигранная; в – шестигранная с усиливающими лентами; г – ромбическая; д – шестигранная смещенная; е – мальтийский крест

Наиболее трудоемки по изготовлению сотовые ячейки в форме мальтийского креста, но они обладают самой высокой жесткостью. Такие сотовые заполнители применяют только при ремонте панелей.

Наиболее широко применяемыми сотовыми заполнителями являются соты с шестигранной ячейкой. Производство их налажено, они надежны.

Сотовые заполнители хорошо работают на устойчивость от сжатия.

В качестве материала для обшивок используют нержавеющие стали (1X18N9TH), титановые сплавы (ОТ-4, ВТ-8, ОТ4-0).

Сотовые заполнители изготавливают из фольги нержавеющей стали или титановых сплавов. Толщина фольги для заполнителя берется 0,05...0,10 мм. Размер грани сотовых ячеек выбирают равными 4,0; 6,0; 10,0 мм.

При пайке для надежного соединения используют жаропрочные припои с температурой плавления 999...1200 °С. Используют листовые припои, толщина листа припоя выбирается в пределах 0,05...0,15 мм.

Принципиальный вид трехслойной панели представлен на рис. 5.6.

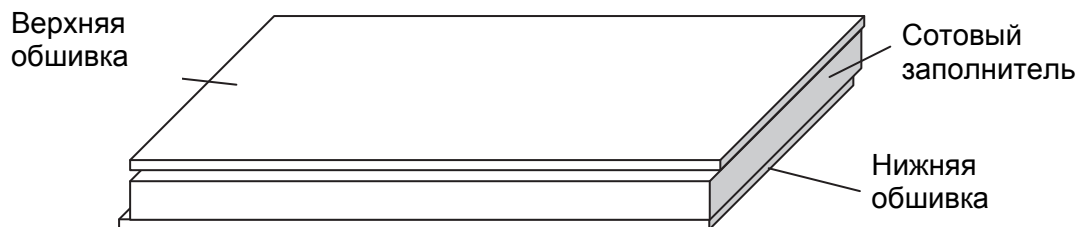


Рис. 5.6. Схема трехслойной панели

Технологический процесс сборки паяных панелей с сотовым наполнителем содержит следующие операции и переходы:

- изготовление обшивок;
- изготовление сотового наполнителя;
- подготовку к пайке поверхностей обшивок и наполнителя;
- сборку панели;
- термическую обработку панели в среде нейтральных газов;
- контроль качества соединения припоя с обшивками и сотовым наполнителем.

**Обшивки** изготавливают на типовом штамповочном оборудовании.

Наиболее трудоемким является процесс получения сотового наполнителя. Типовые технологические операции при изготовлении сотового наполнителя приведены в табл. 5.2.

Гофрированные полосы для сотового наполнителя сваривают на специальных машинах точечной сваркой. Процесс достаточно длительный и трудоемкий, так как число сварных точек велико (более 100 точек). Обработка торцов сот сложна тем, что соты под действием усилия среза и перемещения вперед не дают точно обработать «в размер» внешние обводы сотового блока, поэтому соты устанавливают на магнитные столы станка, и пространство в ячейках сот заполняют металлическим порошком для увеличения их общей жесткости.

Для процесса пайки поверхности обшивки и сотового наполнителя подготавливают тщательно, так как от этого зависит прочность паяного соединения и его качество. В табл. 5.3 приведен пример подготовки поверхности перед пайкой.

Подготовка поверхности проводится в специальном помещении, где поддерживается избыточное давление, которое препятствует проникновению влаги из соседних помещений.

Таблица 5.2

## Операции при изготовлении сварного сотового заполнителя

Наименование операции или перехода	Эскиз детали, принцип операции	Оборудование	Технологическая оснастка
1. Нарезание полос фольги из рулона или листа		Роликовые ножницы	Обрезной станок
2. Гофрирование полос и пробивка в них дренажных отверстий		Штамповочный пресс	Формовочный штамп
3. Подготовка гофрированных полос под сварку	Травление, обезжиривание	Ванны с растворами	-
4. Точечная сварка гофрированных полос и образование сотового блока		Машина для точечной электросварки	Электроды, фиксаторы
5. Обработка сотового блока по торцевым обводам		Шлифовальный круг, фреза, станок с магнитным столом	Приспособление для удаления неровностей с торцов сот

Таблица 5.3

## Типовые операции по подготовке поверхности к пайке

Операция, переход	Наименование раствора	Температура раствора $T$ , °C	Время действия раствора $\tau$ , мин
1. Обезжиривание	Пары трихлорэтилена стабилизированного	110	10
2. Травление	Щелочь NaOH	80 – 90	20 – 30
3. Промывка струей воды	H <sub>2</sub> O	45 – 60	10
4. Травление	90 % серной кислоты H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20	10 – 20
5. Промывка непрерывной струей воды	20 % фтористоводородной кислоты HF	50 – 60	3 цикла по 2 мин
6. Промывка дистиллированной водой из пульверизатора	1 % двуххромовокислого натрия	20	0,5
7. Сушка	Теплый воздух	Не выше 60	Не более 60

Время между подготовкой поверхности и пайкой должно быть небольшим, поскольку поверхность листов обшивок и сот быстро покрывается окисными пленками (в пределах 2...4 ч).

Затем элементы панели соединяют в сборочное положение, между сотовым заполнителем и обшивками прокладывают листы припоя, фиксируют все элементы, собранную панель помещают в герметичный контейнер, из которого выкачивают воздух и закачивают инертный газ (аргон или гелий), чтобы пайка проходила в защитной среде.

После этого контейнер помещают в электрическую нагревательную камеру (или печь). Температуру в печи поднимают на несколько градусов выше температуры плавления припоя. Применяются припои медно-никелевые, жаропрочные с добавкой серебра в пределах 35 %.

Блок-схема процесса сборки-пайки титановых панелей с сотовым заполнителем показана на рис. 5.7.

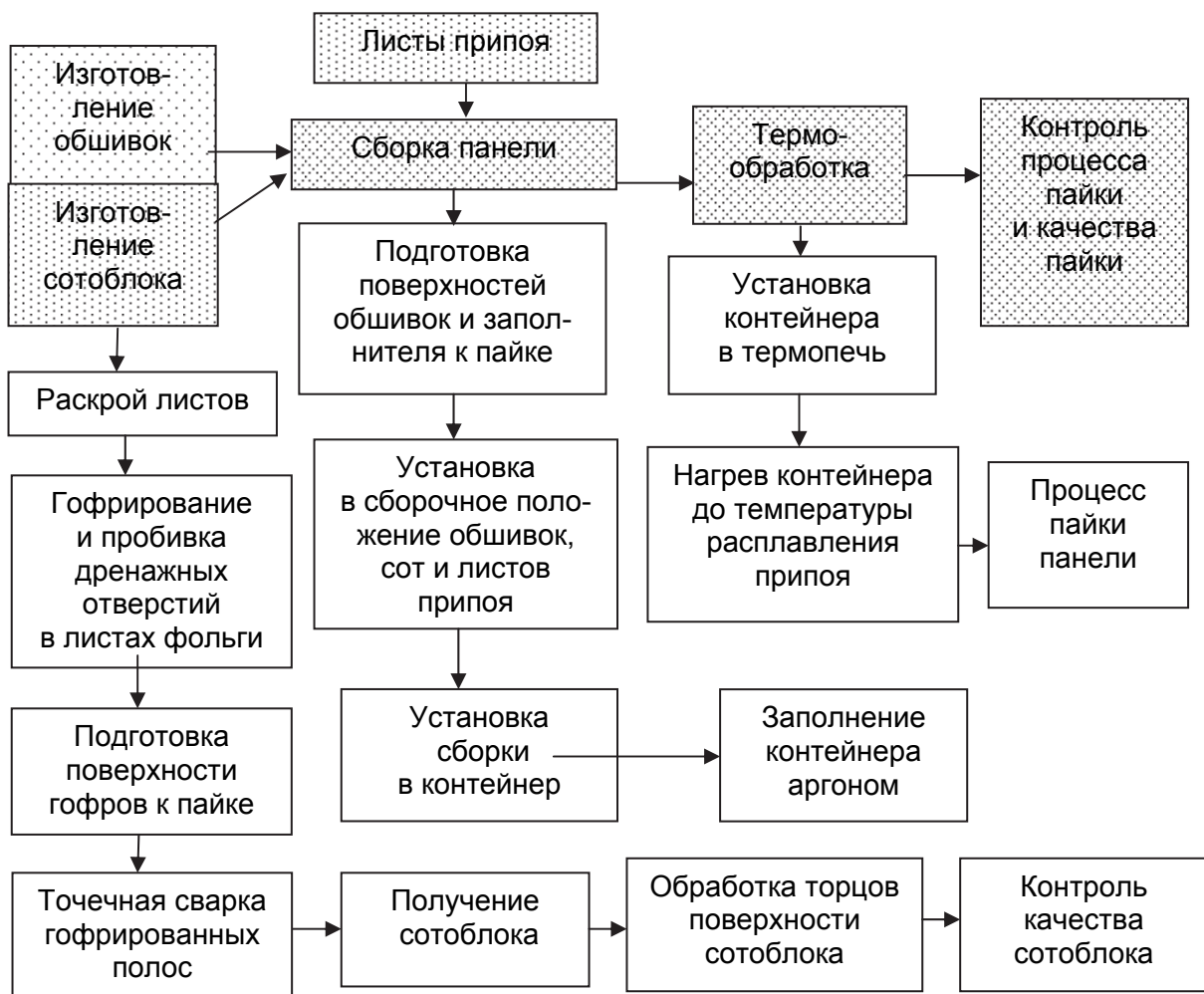


Рис. 5.7. Блок-схема получения паяных трехслойных панелей



## 5.4. Сборка трехслойных панелей клееной конструкции

Трехслойные клееные конструкции (рис. 5.8) (панели и узлы планера самолета) с металлическими и неметаллическими заполнителями имеют ряд преимуществ перед клепаными: они легче; имеют более высокую удельную прочность  $\gamma_B = \sigma_B / \gamma$ ; состоят из меньшего количества деталей; обладают улучшенными аэродинамическими внешними обводами.

Клееные панели и конструкции успешно применяют в хвостовых отсеках лопастей вертолетов, в агрегатах оперения, в некоторых панелях самолетов и вертолетов, в створках люков, тормозных щитках, обтекателях, зализах, законцовках.

Клееные конструкции выполняются из различных материалов: алюминиевых сплавов, стеклопластиков, углепластиков, органических волокон и тканей.

Сотовый наполнитель изготавливают из фольги магниевых, алюминиевых сплавов, из стекло- и хлопчатобумажной ткани, из полимерной и обычной бумаги.

Металлические соты из алюминиевых или магниевых сплавов имеют толщину 0,03...0,15 мм.

Серийно изготавливают соты с шестигранной ячейкой с размером грани 2,5; 4,0; 6,0 мм (если размер грани сот более 6 мм, то возможна потеря устойчивости сот). Высота сотового наполнителя находится в пределах 3,0...30,0 мм.

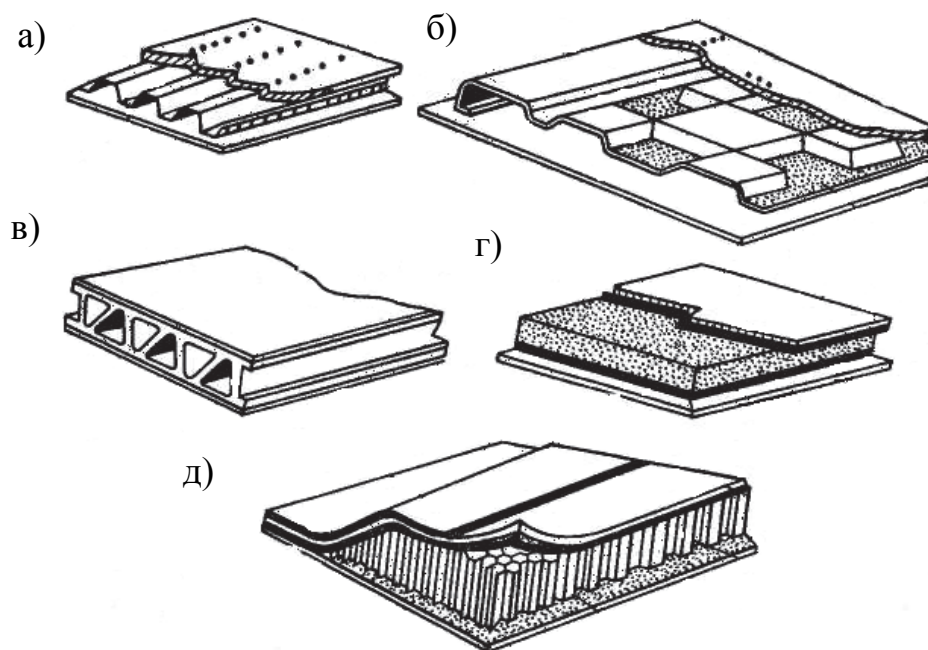


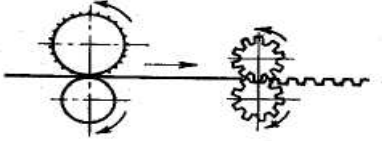
Рис. 5.8. Виды трехслойных клееных панелей: а – с гофром; б – с гофром и пенопластом; в – с ферменным наполнителем; г – с пенопластовым наполнителем; д – с сотовым наполнителем

Известны два метода изготовления металлических сот: последовательное наращивание и метод растяжения.

**Метод наращивания** применяется при толщине фольги 0,08..0,15 мм и отличается низкой производительностью труда (за счет большого объема ручного труда). Последовательность операций получения сот этим методом приведена в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Изготовление металлических сот методом наращивания

Наименование операции	Эскиз операции
1. Образование дренажных отверстий и профилирование фольги	
2. Образование УБО	
3. Обезжиривание и сушка спрофилированных полос	
4. Нанесение клея на горизонтальные поверхности полос вручную и сушка	
5. Сборка блока по СО и подпрессовка блока	
6. Склеивание блока в электрической воздушной печи	
7. Разрезка готового блока на заготовки требуемых размеров	
8. Обработка торцов сот	
9. Контроль качества склеивания сот	Контрольные приборы

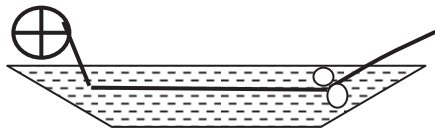
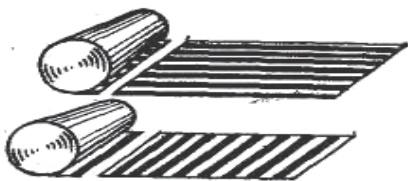


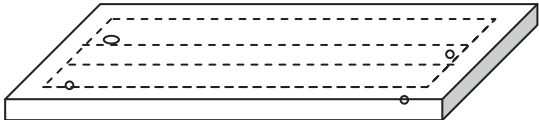
Получение сот *методом растяжения* более технологично по сравнению с методом наращивания, широко применяется в серийном производстве, позволяет механизировать и автоматизировать процесс изготовления сот и упростить механическую обработку торцов сот. Метод растяжения используют для изготовления сотового заполнителя из нежесткой металлической фольги толщиной 0,05 мм и менее.

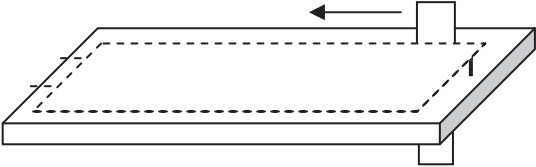

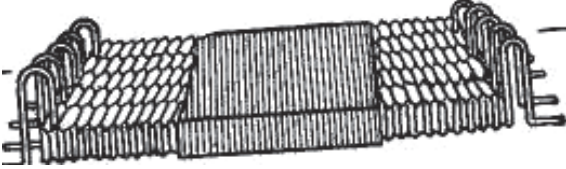
В серийном производстве для изготовления сот методом растяжения успешно применяются отечественные автоматы АСП-250 и их модификации АСП-400, АСП-1000, АСП-1200, АСП-2000. В этих установках автоматизированы операции по нанесению клеевых полос на фольгу, подсушке клея до отлипа, образованию дренажных отверстий, складыванию фольги в сотовый пакет (фольгу складывают так, чтобы клеевые полосы по толщине пакета были расположены в шахматном порядке по отношению к предыдущей полосе) и опрессовка сотового пакета (табл. 5.5).

Затем опрессованный сотовый пакет поступает в термопечь, где проводится отверждение клея и склеивание полос фольги.

Таблица 5.5

Операции при изготовлении сот методом растяжения

Наименование операции	Эскиз операции
<i>1</i>	<i>2</i>
1. Обезжиривание в растворе ОП-7 и сушка фольги	
2. Автомат АСП: нанесение на фольгу клеевых полос, подсушка клея, пробивка дренажных отверстий в фольге, укладка в сотовый пакет	
3. Закладка сотового пакета в контейнер	
4. Установка контейнера в термопечь для отверждения клея	
5. Разметка сотового пакета и сверление БО	

1	2
6. Разрезка пакета на заготовки	
7. Фрезерование заготовок по торцам сотопакета	
8. Растяжение заготовки в специальном приспособлении	

После охлаждения сотопакета до нормальной температуры сотопакет поступает в специальное приспособление, где путем растяжения сотопакета получают соты.

Следует отметить, что отверждение клея и склеивание клеевых полос проходит при определенных температуре нагрева, давлении прессования и времени выдержки-термообработки клея. В зависимости от марки клея температура отверждения должна быть от 110 до 170 °С, давление прессования от 0,2 до 0,7 МПа, время выдержки от 4,0 до 12,0 ч.

После термообработки клея сотопакет растягивают на специальных приспособлениях для образования сотовых ячеек.

После растяжения торцовая поверхность полученного сотового заполнителя имеет неровности, заусенцы, неплавности, «гребешки». Для устранения этих технологических погрешностей торцевую поверхность сот механически обрабатывают (фрезеруют, прикатывают все неровности).

**Метод растяжения** широко используют для изготовления сотового заполнителя из неметаллических материалов (стеклоткани, хлопчатобумажной ткани, полимерной бумаги, ткани «Аэровеб»).

Метод позволяет использовать автоматы для нанесения клеевых полос на материал, складывание материала в сотопакет. Затем проводят склеивание сотопакета под давлением и температурой, пропитывают связующим растянутый сотопакет (уже полученный сотоблок), отправляют в термопечь сотоблоков для отверждения связующего.

Последовательность изготовления неметаллического сотового заполнителя рассмотрена на рис. 5.9.

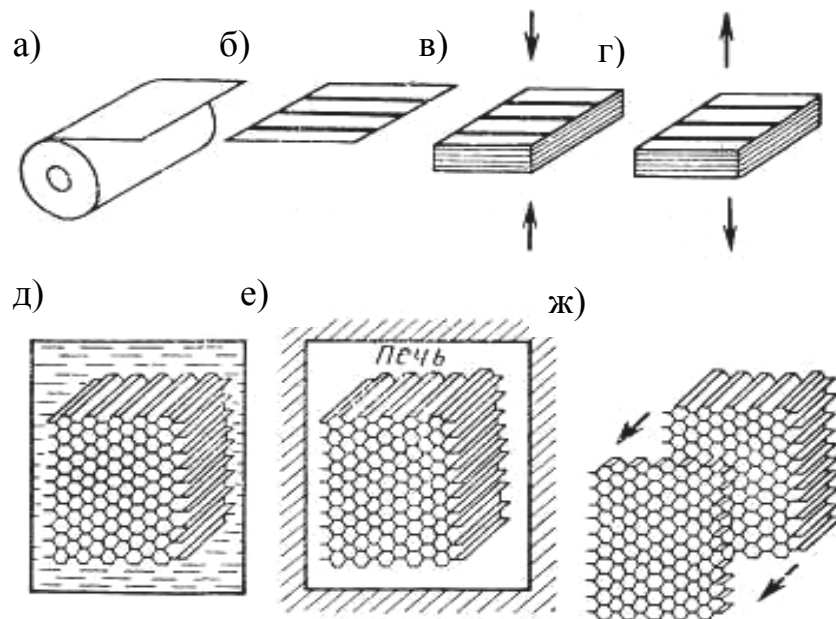


Рис. 5.9. Изготовление клееных сотоблоков методом растяжения:  
 а – рулон ткани; б – нанесение клеевых полос; в – склеивание под прессом; г – растяжение сотопакета; д – пропитка сотоблока связующим; е – термообработка сотоблока в печи;  
 ж – разрезка сотоблока на заготовки

**Сборка металлических клееных трехслойных панелей** содержит следующую последовательность операций:

1) подготовка рабочей поверхности формы, куда закладывают обшивки, копируют внешний обвод верхней обшивки. Поверхность подготавливают, очищают от грязи, жира, смазывают антиадгезионной смазкой для исключения пригорания вытекающего клея к поверхности формы;

2) на рабочую поверхность формы укладывают верхнюю обшивку внешней стороной вниз, при этом внутренняя поверхность обшивки обезжирена и подсушена;

3) на клеевую пленку выкладывают обезжиренный и подсушенный сотовый наполнитель или части сотового наполнителя, тщательно склеивают их между собой так, чтобы образовалась сотовая ячейка;

4) на сотовый наполнитель выкладывают клеевую пленку, разглаживают пленку, чтобы не было морщин и складок;

5) на клеевую пленку выкладывают нижнюю обезжиренную и подсушенную обшивку. Собранные положения деталей фиксируют.

6) сборку помещают в автоклав или печь, где происходит отверждение клея;

7) затем панель проходит контрольные операции по проверке непрочности и проводят испытания на растяжение, срез и сжатие образцов панели, которые склеивают вместе с панелью.

Структурная блок-схема технологического процесса сборки клееной панели представлена на рис. 5.10.

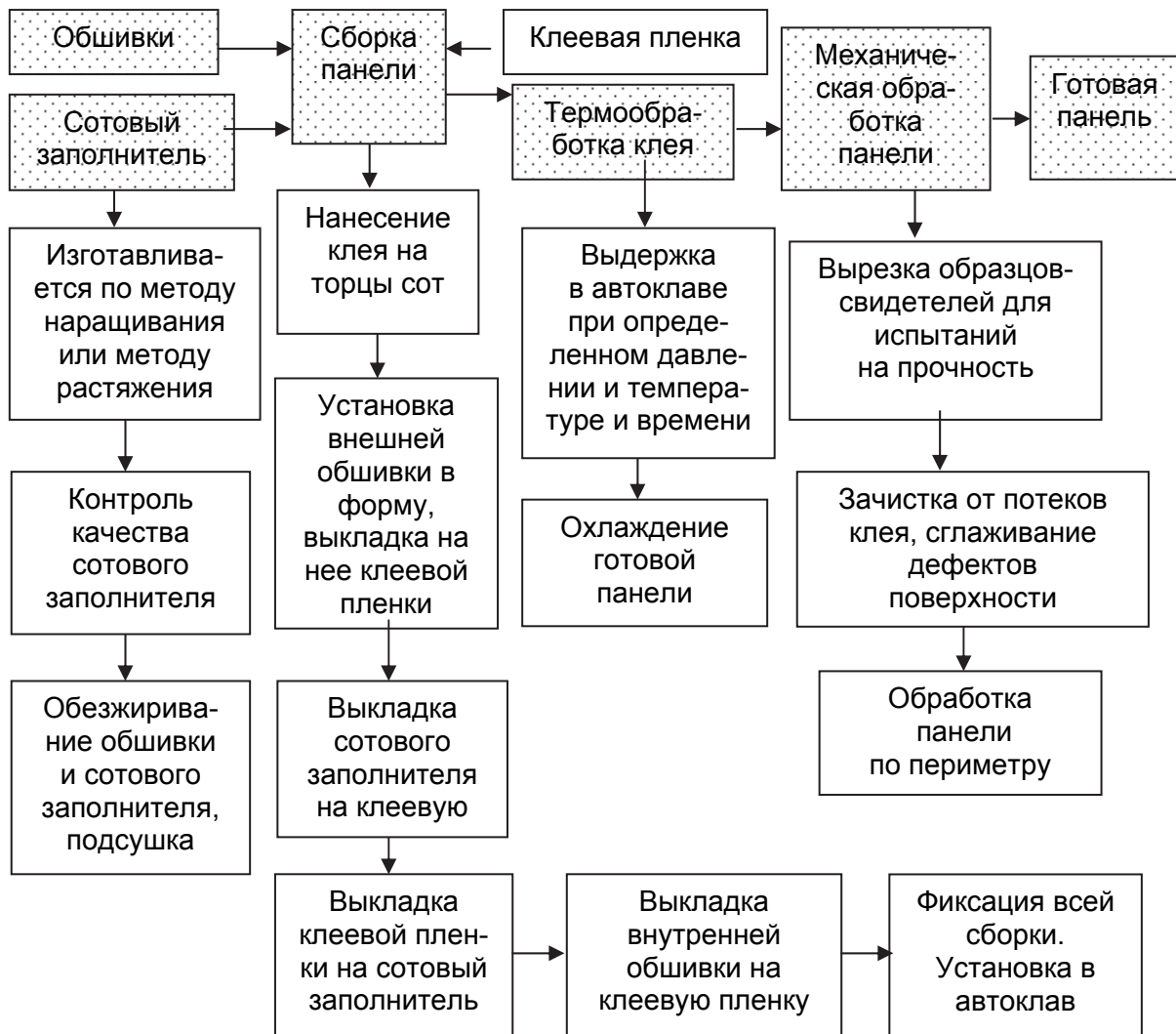


Рис. 5.10. Блок-схема изготовления клееной трехслойной панели

**Примечание.** Автоклав – специальное устройство для изготовления изделий под давлением и температурой, в котором по установленной программе автоматически создаются и поддерживаются заданные давление, температура нагрева и время выдержки, в течение которого идет отверждение клея.

Для склеивания сотового наполнителя с обшивкой применяются высокопрочные, термостойкие клеи на основе термореактивных полимеров (фенольно-формальдегидных, эпоксидных, кремнийорганических, модифицированных каучуком).

Клеи могут быть в виде жидкостей или клеевых пленок. Наиболее успешно применяют клеи типа ВК: ВК-3В, ВК-39, ВК-51. Необходимо отметить, что для каждой марки клея установлены свои параметры: температура склеивания, давление прессования и время отверждения клея.

По сравнению с жидкими клеями клеевые пленки имеют преимущества: постоянную толщину клеевой прослойки; хорошие условия транспортировки и хранения; высокие санитарно-гигиенические условия выполнения сборочных работ (практически не выделяются из клеев летучие токсичные вещества).

### 5.5. Сборка узлов и панелей с пенопластовыми наполнителями

Из легких наполнителей, применяемых в трехслойных самолетных конструкциях, особенно часто используют газонаполненные пластмассы.

Газонаполненные пластмассы имеют специфические особенности: низкую плотность, высокую удельную прочность, хорошую звуко-, тепло- и электроизоляцию, высокую плавучесть и непотопляемость, устойчивость к действию влаги и микроорганизмам, к топливам, маслам.

Если газонаполненная пластмасса состоит из изолированных ячеек, ее называют *пенопластом*, если же из сообщающихся между собой ячеек, то называют *поропластом*.

В трехслойных панелях и узлах применяют пенопласт, имеющий плотность  $\gamma = 0,015 \dots 0,20$  г/см<sup>3</sup>.

Такие конструкции могут работать на небольшие аэродинамические нагрузки:

- в закрылках, законцовках элерона, руля высоты, панелях крыла легких самолетов с небольшой скоростью полета до 300 км/ч;
- в элементах интерьера самолета (полочках, перегородках, ширмах, панелях).

Получают трехслойные конструкции с пенопластом одним из трех способов: прессовым, беспрессовым и комбинированным.

При *прессовом методе* применяют пенопласт в виде листов или плит (листовой или плиточный пенопласт). Для сборки металлического каркаса и обшивки применяют типовое сборочное приспособление. Для склейки пенопласта с обшивками и каркасом используют специальное термоприспособление. Для создания давления склеивания используют *компрессорную установку*.

Один из вариантов технологического процесса изготовления хвостовой части руля направления (ХЧРН) с пенопластом включает операции:

- 1) сборку металлического каркаса и металлической обшивки в сборочном приспособлении обычным типовым способом;
- 2) подгонку частей плиточного пенопласта для закладки в отсеки между нервюрами в каркасе руля направления;
- 3) выемку и перенос сборки в термоприспособление;

4) подготовку внутренних поверхностей ХЧРН и частей пенопласта к склеиванию: обезжиривание, нанесение подклея и клея и подсушку его до состояния отлипа;

5) установку частей точно обработанного и покрытого клеем пенопласта в отсеки между нервюр;

6) установку и соединение стенки-лонжерона ХЧРН;

7) герметизацию термоприспособления;

8) термообработку клея для склеивания пенопласта и металлических частей ХЧРН: подачу давления 0,5...0,6 МПа, нагрев до температуры отверждения клея, выдержку при заданном режиме до полного отверждения клея;

9) охлаждение на воздухе сборки после окончания отверждения клея;

10) контроль качества склеивания.

Схема сборки ХЧРН с пенопластом прессовым методом приведена на рис. 5.11.



Рис. 5.11. Блок-схема сборки ХЧРН с пенопластовым наполнителем прессовым методом

**Беспрессовый** метод получения изделий с пенопластовыми наполнителями позволяет значительно упростить технологический процесс изго-



товления. Используется полуфабрикат пенопласта, который изготавливают и поставляют в виде жидкостей, паст, порошков, пленки, пустотелых шнуров или цилиндров длиной 5...7 мм. В полуфабрикат пенопласта добавляют специальный газообразователь. При нагревании в закрытом герметичном объеме полуфабрикат пенопласта вспенивается, происходит химическая реакция, в результате которой создается давление в пределах 4,0...4,5 кг/см<sup>2</sup>, достаточное для надежного склеивания пенопласта с каркасом и обшивками изделия. Одновременно пенопласт отверждается, переходит в пористую твердую фазу. Внешнего давления подавать не надо.

Беспрессовый метод более экономичен, проще прессового и менее трудоемок. Основные преимущества беспрессового метода по сравнению с прессовым: нет необходимости использовать давление от компрессорной установки и нет операций подгонки плиточного пенопласта.

Предварительно перед засыпкой или заливкой полуфабриката пенопласта наносят подклей на внутренние поверхности изделия, затем после подсушки наносят основной клей для более надежного склеивания пенопласта с металлическими деталями изделия в процессе термообработки.

Заполненное полуфабрикатом изделие герметизируют и помещают в термоприспособление, затем изделие подвергают термической обработке. Используют полуфабрикат пенопласта типа ФФ и ФК-40, ФФ-20-А20. Используют и жидкие полуфабрикаты, представляющие тщательно перемешанную сложную композицию (компоненты смешиваются непосредственно перед заливкой). Используют полуфабрикаты пенопластов типа ПУ-101, ПУ-102 и ПЭ-1, ПЭ-2.

В процессе термообработки необходимо довести температуру до температуры отверждения полуфабриката пенопласта  $t_{\text{отв}} = 120...170$  °С.

Вариант технологического процесса сборки носка стабилизатора с самовспенивающимся пенопластовым наполнителем включает операции:

- 1) сборки металлического или композитного каркаса носка стабилизатора с обшивкой;
- 2) засыпки (или заливки) полуфабриката пенопласта в полость носка;
- 3) установки стенки-лонжерона и герметизации внутренней полости;
- 4) установки собранного носка стабилизатора в термоприспособление;
- 5) термообработки носка: нагрев сборки со скоростью 1,0...3,0 °С/мин до температуры отверждения полуфабриката, выдержки при этой температуре 1,5...3,0 ч;
- 6) механической обработки готового носка стабилизатора, вырезки образцов-свидетелей для испытаний;
- 7) контроля качества готового изделия.

Блок-схема сборки носка стабилизатора беспрессовым (или самовспенивающимся) методом приведена на рис. 5.12.



Рис. 5.12. Блок-схема процесса сборки носка стабилизатора беспрессовым методом

Плотность  $\gamma$  пенопластового заполнителя после вспенивания находится в пределах  $\gamma = 0,015 \dots 0,20 \text{ г/см}^3$ .

Необходимое количество полуфабриката пенопласта  $G$  для заполнения полости изделия объемом  $V$  определяется по формуле

$$G = kV\gamma,$$

где коэффициент  $k = 1,03 \dots 1,05$  учитывает усадку пенопласта при переработке.

При толщине пенопласта в изделии более 10 мм возможна усадка пенопласта. Чтобы уменьшить усадку или исключить, ее используют третий метод – **комбинированный**, сущность которого состоит в том, что в полость изделия вводят грубо обработанный пенопласт (плиточный вкладыш), а в получившийся зазор (8 – 10 мм) засыпают полуфабрикат самовспенивающегося пенопласта.

После сборки каркаса с обшивкой обеспечивают герметичность внутреннего объема изделия. После этого проводят термообработку клея и самовспенивающегося пенопласта одновременно в специальном термоприспособлении.

Комбинированный метод обладает всеми преимуществами беспрессового метода. Кроме того, уменьшается время термической обработки клея и самовспенивающегося пенопласта, так как толщина пенопласта значительно уменьшилась.

## **6. АГРЕГАТНАЯ СБОРКА САМОЛЕТА**

Сборку отдельных секций, отсеков и агрегатов проводят на агрегатной сборке, которая состоит из двух этапов:

- 1) стапельная сборка или сборка в стапеле;
- 2) внестапельная сборка, досборка в стендах вне стапеля.

На *стапельной сборке* агрегат собирают из узлов и деталей в специальных сборочных приспособлениях – стапелях, сборка проходит параллельно-последовательным или последовательным способом.

На *внестапельной сборке* в качестве сборочных приспособлений используют стенды, в которых проводят на собираемых агрегатах монтаж оборудования, специального оборудования или макетов оборудования, приборов, механизмов, различного рода коммуникаций и органов управления; установку некоторых деталей и узлов; обработку стыков и разъемов; испытывают отдельные системы, входящие в собранный агрегат.

### **6.1. Сборка панелированных конструкций**

#### **6.1.1. Сборка отъемной части крыла**

Схему сборки панелированной конструкции, расчлененной на узлы и панели, рассмотрим на примерах сборки отъемной части крыла (ОЧК) и носового отсека фюзеляжа.

Сборку ОЧК ведут в стапеле, схема которого представлена на рис. 6.1.

На агрегатную сборку ОЧК поступают предварительно собранные на участках узловой сборки панели и узлы.

На стапельную сборку ОЧК поступают: верхняя 1, съемная 2 и нижняя 3 панели, передний 4 и задний 5 лонжероны, макетные и нормальные нервюры 6, хвостовая и носовая части крыла (рис. 6.2).

Панели и узлы отъемной части крыла поступают обработанными по стыкам и разъемам, с просверленными БО и НО.

Пример схемы сборки одной из панелей, собранных из отдельных деталей – обшивки, набора стрингеров и профилей, фитингов, накладок, компенсаторов представлен на рис. 6.3.

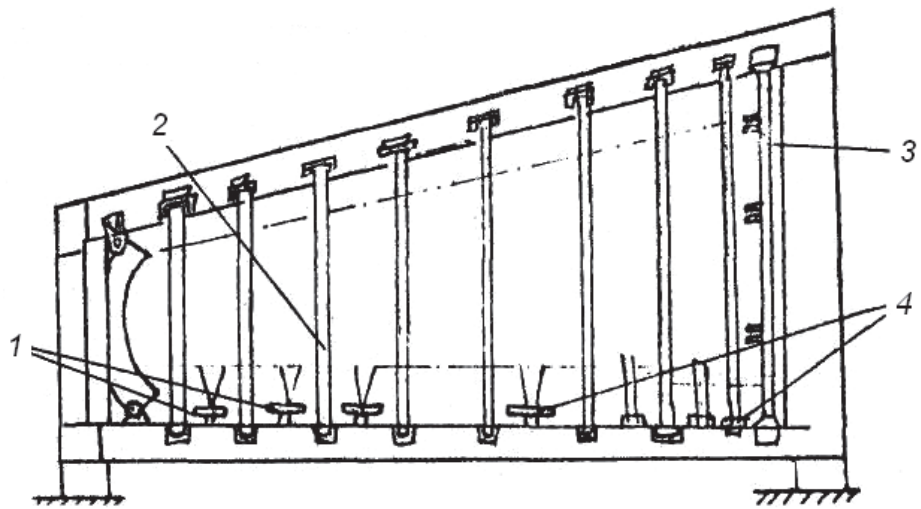


Рис. 6.1. Стапель сборки ОЧК:

- 1 – мастер-плита стапеля; 2 – калибры разъемов элерона к крылу;  
 3 – калибры разъемов рельсов для сдвижного закрылка;  
 4 – рубильники стапеля

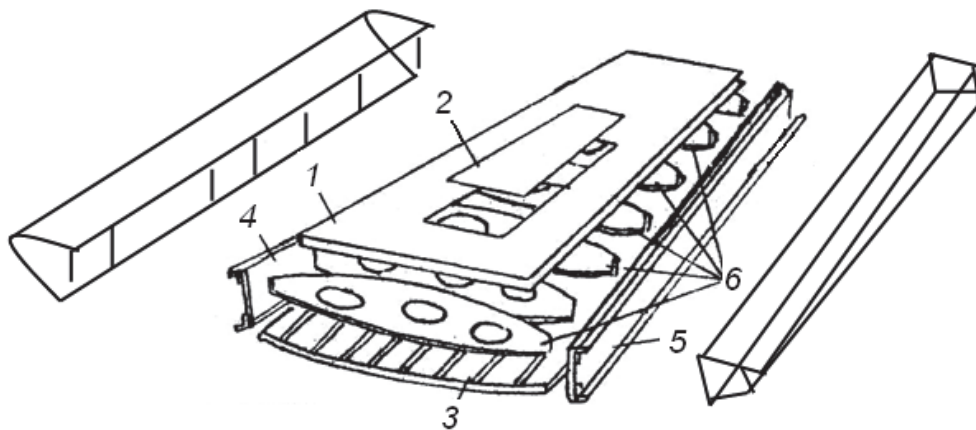


Рис. 6.2. Членение ОЧК на узлы и панели

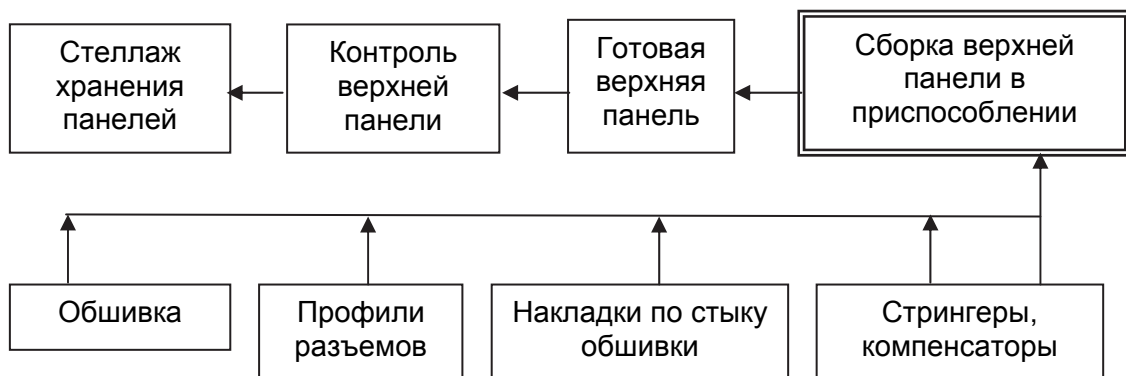


Рис. 6.3. Схема сборки панели крыла

**Сборку ОЧК** начинают с установки и фиксации в стапеле предварительно собранной хвостовой части крыла и заднего лонжерона. Их базирование идет по мастер-плитам стапеля.

Затем по калибрам разъемов устанавливают узлы навески элерона и рельсы для перемещения щитка – закрылка.

Затем устанавливают передний лонжерон и некоторые нервюры, изготовленные с высокой степенью точности с базированием по упорам стапеля. Соединяют нервюры с лонжероном технологическими болтами по СО, выполненным в стойках лонжерона и стенках нервюр.

Далее устанавливают и фиксируют по рубильникам стапеля верхнюю и съемную панели крыла. Сборочной базой для установки верхней и съемной панелей служат рабочие контуры рубильников.

Используя компенсаторы, по НО просверливают отверстия в полках нервюр, поясах лонжеронов и панелях и соединяют панель с полками нервюр и с поясами лонжеронов. После сверления отверстий необходимо очистить поверхность и объем ОЧК от стружки, а при потайной клепке после зенкования отверстий удалить заусенцы.

Далее устанавливают все оставшиеся нервюры крыла, базирование которых проводят по местам сопряжения их с передним и задним лонжеронами и верхней панелью, т.е. проводят базирование по месту нервюр в конструктивном контуре крыла. Соединяют полочки нервюр с верхней панелью и с поясами и стенками лонжеронов.

Затем устанавливают и фиксируют по рубильникам стапеля нижнюю панель. Съемную панель удаляют из стапеля, чтобы обеспечить доступ в зону работ при соединении нижней панели с элементами каркаса крыла. Проклепывают нижнюю панель с каркасом, как и верхнюю панель.

После соединения-клепки нижней панели с каркасом крыла устанавливают съемную панель в стапель и винтами (болтами) крепят ее с каркасом крыла.

Заключительным этапом сборки ОЧК в стапеле является установка носка крыла и соединение его с передним лонжероном.

Собранная в стапеле ОЧК поступает на участок внестапельной сборки.

На участке внестапельной сборки проводят монтаж оборудования, систем управления, устанавливают приборы, которые не могли быть установлены на стапельной сборке.

Затем ОЧК поступает в разделочный стенд, где проводится доработка стыков ОЧК, контроль стыков и обводов ОЧК. Затем идет испытание и регулирование систем ОЧК.

Схема стапельной и внестапельной сборки ОЧК представлена на рис. 6.4.



Рис. 6.4. Блок-схема сборки ОЧК

На стадиях контроля сборки ОЧК проверяют качество выполнения заклепочных соединений, качество обводов внешних контуров крыла, качество контуров стыка, герметичность крыла.

Сборка отъемной части крыла организована по последовательно-параллельной схеме, когда узлы собираются параллельно друг с другом в различных приспособлениях, а при поступлении в стапель окончательной сборки узлы устанавливаются один за другим последовательно.

### 6.1.2. Сборка носового отсека фюзеляжа

Носовой отсек фюзеляжа (НОФ) расчленен на следующие сборочные единицы: левую 3 и правую 4 панели, каркас фонаря 2 кабины летчика, силовой пол 5, четыре усиленных стрингера-бимса 6, две створки 7 передней ноги шасси, переднюю ногу шасси 10, обтекатель 1, силовые шпангоуты 9, стыковой шпангоут 8.

Принципиальная схема носового отсека фюзеляжа представлена на рис. 6.5. Схема членения носового отсека представлена на рис. 6.6.

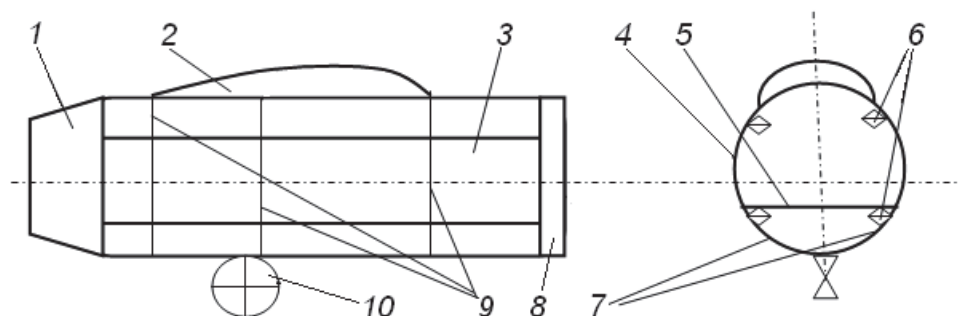


Рис. 6.5. Принципиальная схема носового отсека фюзеляжа

На сборку узлы и панели поступают собранными в окончательные размеры, с просверленными НО и СО. Доработка или подгонка узлов и панелей не допускается.

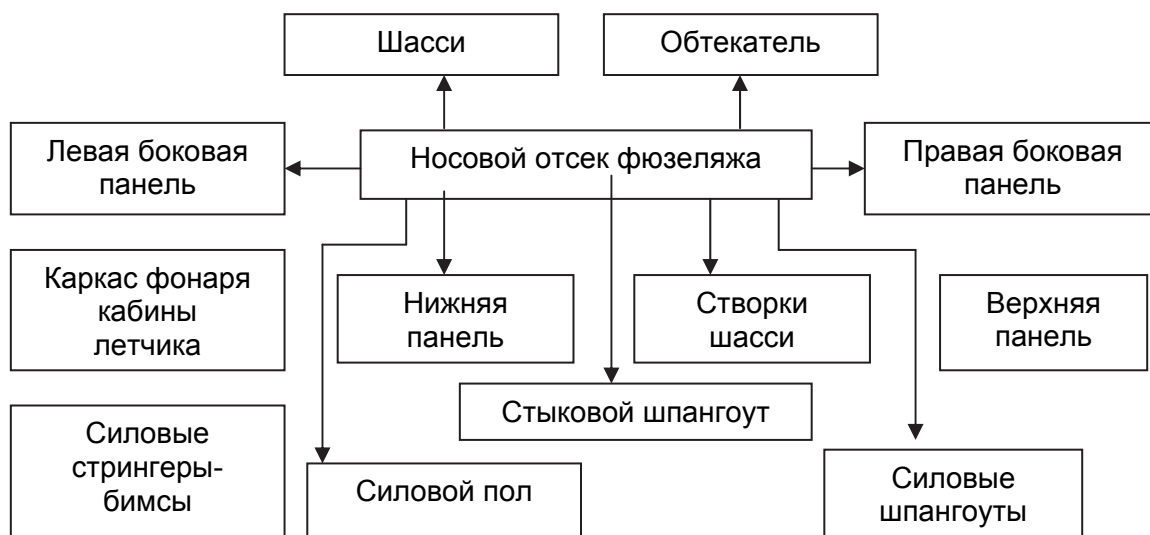


Рис. 6.6. Схема членения носового отсека фюзеляжа

На рис. 6.7 представлена конструктивная схема стапеля сборки НОФ. Стапель имеет несущий пространственный каркас, который состоит из четырех стоек-колонн 1, на которых закреплены две нижние и две верхние продольные балки 4 и две поперечные балки 2. На продольных балках навешены 16 рубильников 5 (по восемь с каждой стороны). На торце стапеля установлены калибры узлов крепления обтекателя 3. В стапеле имеется ложемент 8, на который базируется нижняя панель отсека. Стапель имеет калибр установки ноги шасси 7. Для установки стыкового шпангоута используют мастер-плиту 6.

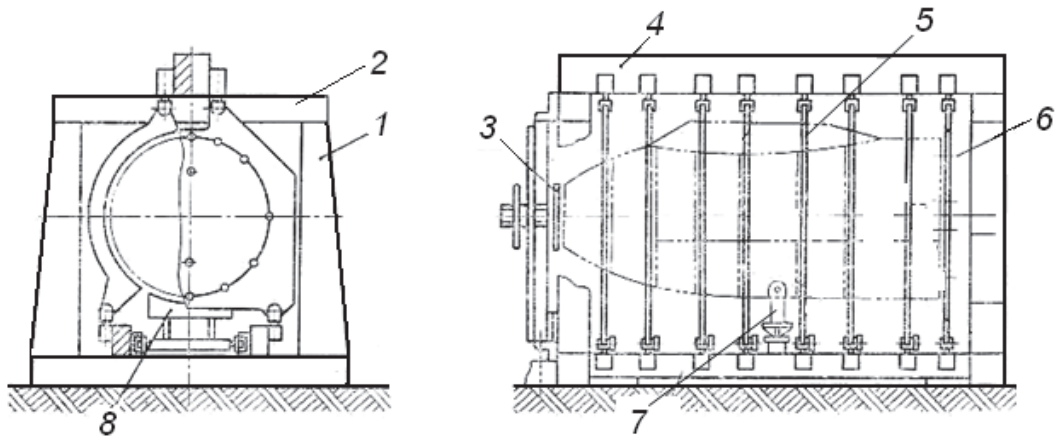


Рис. 6.7. Конструктивная схема стапеля сборки НОФ

Схема сборки НОФ в стапеле с базированием по внешней поверхности обшивки (сборочная база – ложементы рубильников) представлена на рис. 6.8.



Рис. 6.8. Вариант схемы сборки носового отсека фюзеляжа (начало)



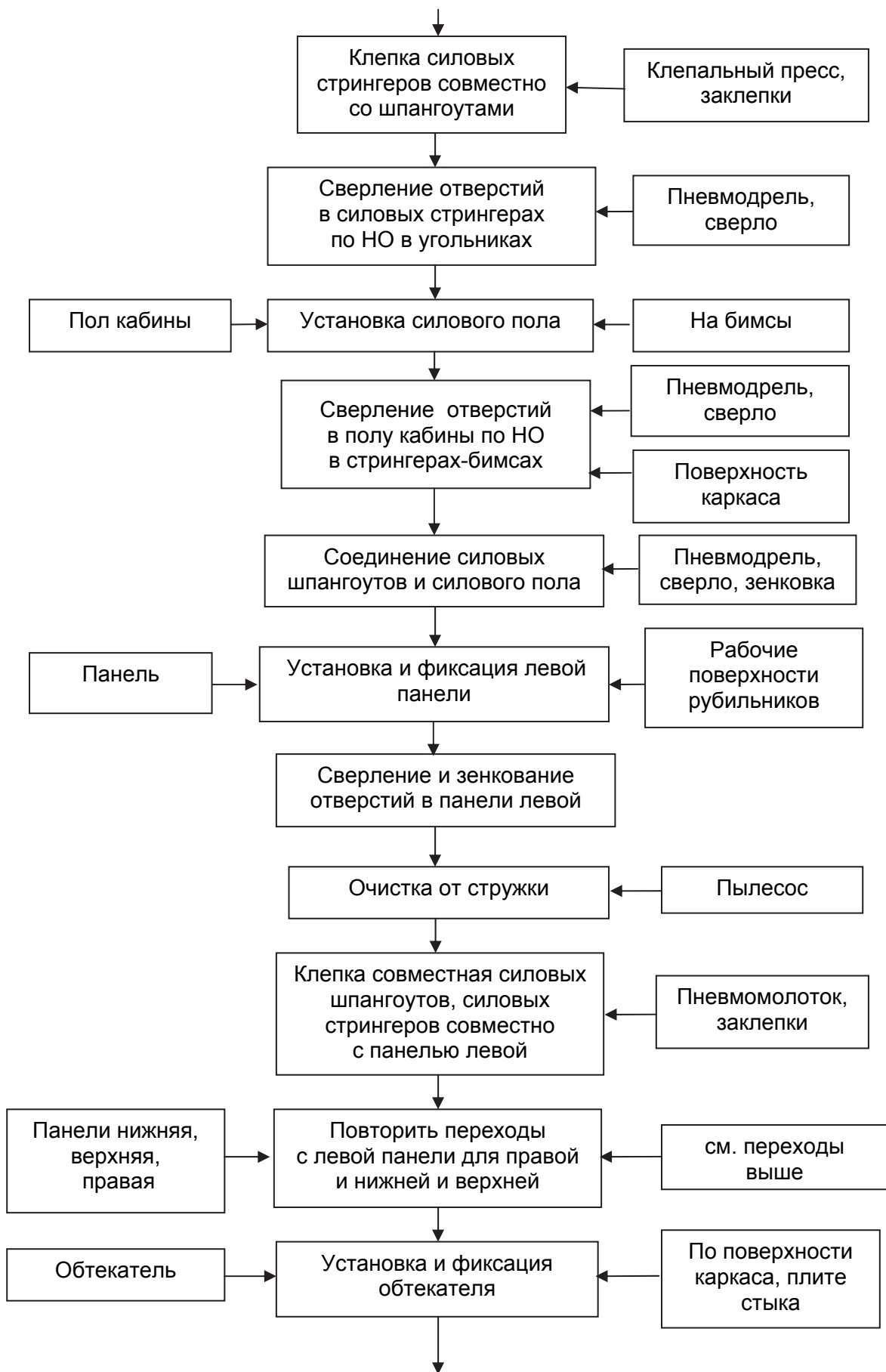


Рис. 6.8. Вариант схемы сборки носового отсека фюзеляжа (продолжение)

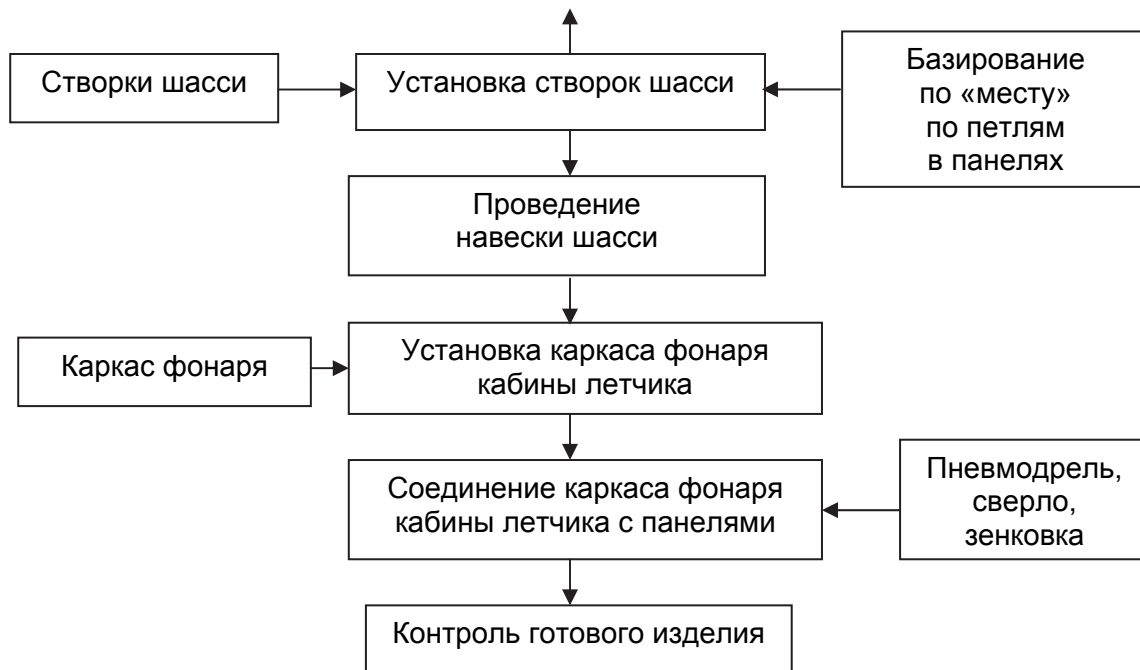


Рис. 6.8. Вариант схемы сборки носового отсека фюзеляжа (окончание)

Исходя из схемы сборки, заключают, что **технологический процесс сборки отсека НОФ** включает следующие операции:

- установку и фиксацию усиленного и стыкового шпангоутов по СО стапеля и ложементам рубильников;
- установку усиленных стрингеров (бимсов) по месту детали в конструктивном контуре шпангоутов;
- соединение бимсов со шпангоутами клепкой.

Сборка каркаса НОФ закончена.

Далее проводят:

- установку панели через компенсаторы, сверление по НО в шпангоутах и бимсах отверстий в панелях, зенкование отверстия и проведение клепки панелей с бимсами и шпангоутами;
- установку створок шасси с базированием по «месту» – по петлям в панелях;
- проведение навески шасси;
- установку силового пола и соединение его с бимсами;
- установку каркаса фонаря кабины летчика и обтекателя;
- проведение соединения каркаса фонаря с панелями, обтекателя – с усиленным шпангоутом.

### 6.1.3. Сборка отсека фюзеляжа в «упрощенном» стапеле

Отсек фюзеляжа Ф-4 состоит из четырех панелей: нижней 1, верхней 2, левой боковой 3 и правой боковой 4 (рис. 6.9). Панели собираются в левую и правую секции на участке узловой сборки.

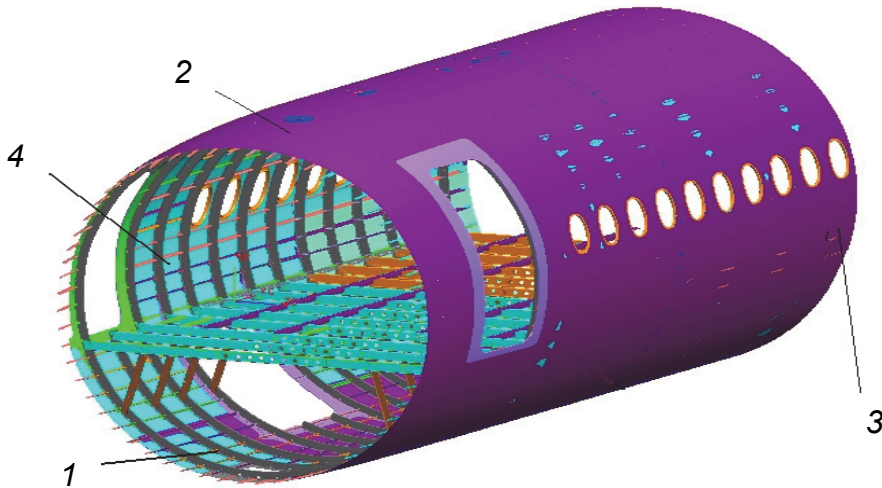


Рис. 6.9. Внешний вид отсека Ф-4

Левая секция состоит из верхней и левой боковой панели, правая – из нижней и правой боковой панели. Внешний вид одной из панелей показан на рис. 6.10.

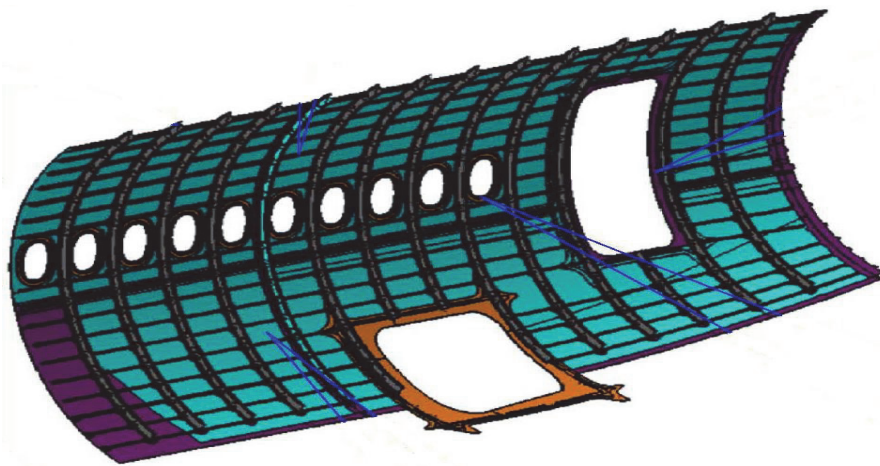


Рис. 6.10. Внешний вид правой панели

Отсек по стыкам имеет стыковые шпангоуты, пример стыкового шпангоута при стыковке отсека Ф-5 к Ф-4 представлен на рис. 6.11.

С правого борта располагается служебная дверь, по контуру двери установлены герметизирующие резиновые профили.

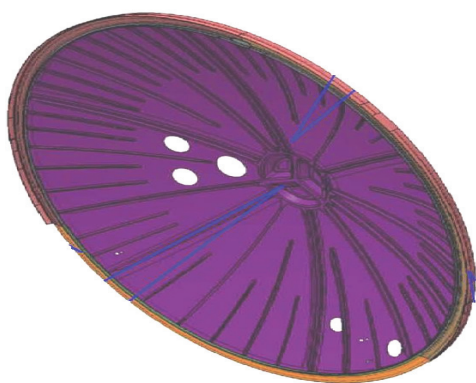


Рис. 6.11. Внешний вид стыкового шпангоута

Люк заднего багажно-грузового отсека расположен с правого борта между шпангоутами № 42 – 45, открывается наружу вверх и фиксируется в открытом положении подкосами.

Отсек имеет иллюминаторы пассажирского салона в количестве 10 штук (рис. 6.12). Стеклоблок иллюминатора состоит из наружного стекла толщиной 10 мм и внутреннего – толщиной 4 мм.

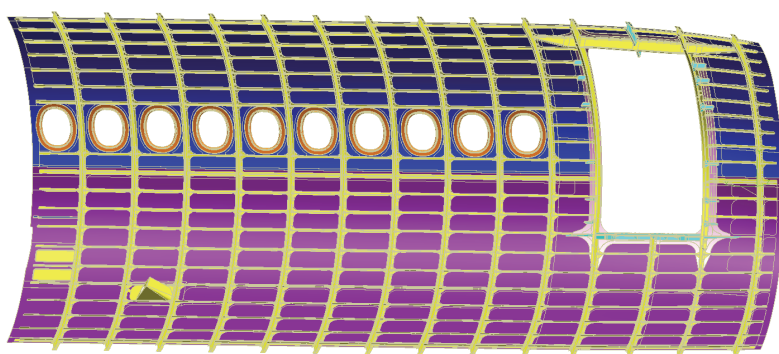


Рис. 6.12. Расположение иллюминаторов на панели

Пассажирский салон размещен над силовым полом, а технические и багажно-грузовые отсеки – под полом. Каркас силового пола (рис. 6.13) в отсеке выполнен из продольных и поперечных балок, настил пола выполнен в виде трехслойных панелей из композиционных материалов. На силовой пол крепятся пассажирские кресла.

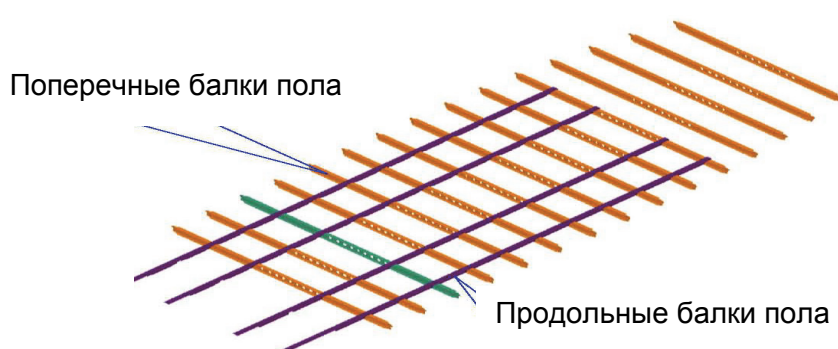


Рис. 6.13. Вид на каркас силового пола пассажирского салона

Электронная модель сборочного приспособления (стапеля) для сборки отсека Ф-4 приведена на рис. 3.6.

Схема сборки отсека рассмотрена на рис. 6.14.

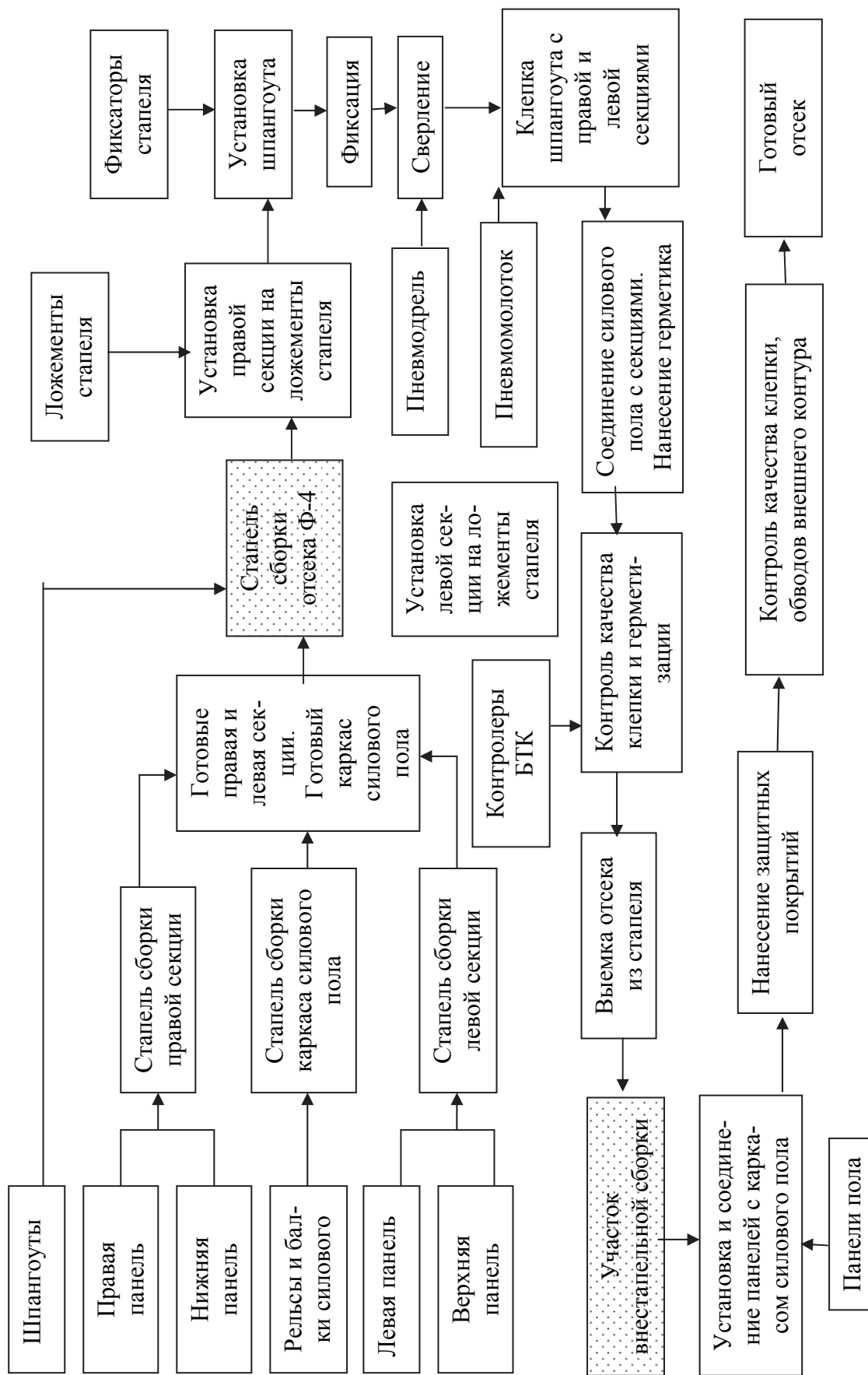


Рис. 6.14. Вариант схемы сборки отсека фюзеляжа

## 6.2. Сборка непанелированных конструкций

Непанелированная конструкция в сборочных процессах в самолетостроении – это, как правило, небольшой агрегат, закрылок, стабилизатор, руль высоты или направления.

На сборку непанелированного агрегата поступают в основном детали и небольшое количество узлов.

### 6.2.1. Сборка клепаного элерона

На сборку клепаного элерона (рис. 6.15) поступает носок элерона 1, лонжерон 2 (со стенкой и поясами, с узлами навески 3 и стойками), нервюры 4, собранные в приспособлениях на участке узловой сборки, нижней 5 и верхней 6 обшивок и законцовки профиля элерона 7.

**Сборка элерона как непанелированной конструкции может проводиться в переналаживаемом стапеле (рис. 6.16) в соответствии с принятой**

технологией сборки (можно составить несколько вариантов сборки и выбрать наиболее эффективный вариант по трудоемкости и циклу сборки).

В переналаживаемом стапеле имеется возможность заменить каркасные рубильники после сборки каркаса на обычные рубильники для базирования обшивок по каркасу элерона.

Но применяют и два приспособления, один из которых имеет каркасные рубильники, второй – обычные.

Сборку ведут с базированием по поверхности каркаса. Этот способ базирования часто применяют для сборки непанелированной конструкции, которая имеет тонкую обшивку (толщина обшивки меньше 1,0...1,5 мм).

По техническим условиям (ТУ) точность обвода контура нижней обшивки равна  $\pm 0,5$  мм, а верхней –  $\pm 1,5$  мм.

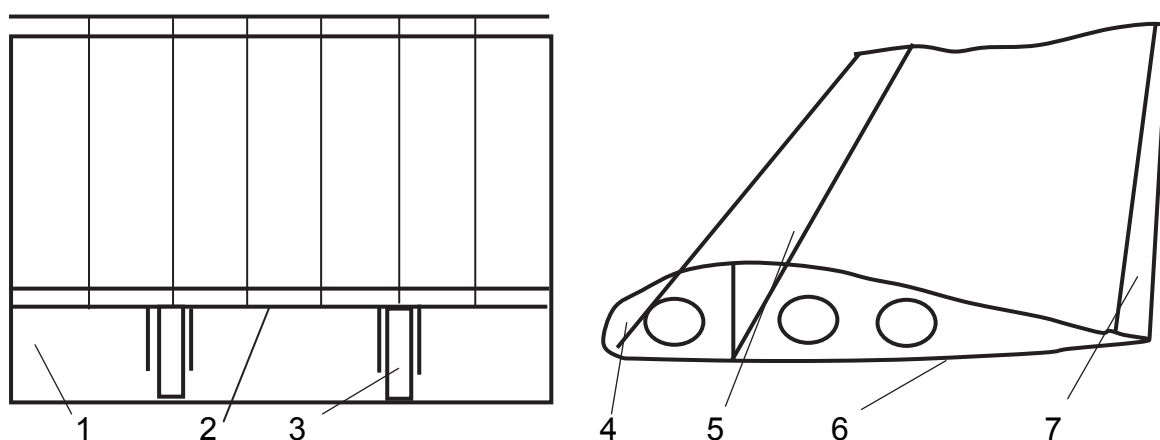


Рис. 6.15. Принципиальная схема элерона

Носок и нижняя обшивка соединяются с лонжероном и нервюрами заклепками ЗУК (заклепка усталостная с компенсатором), верхняя обшивка – заклепками с сердечником для односторонней клепки.

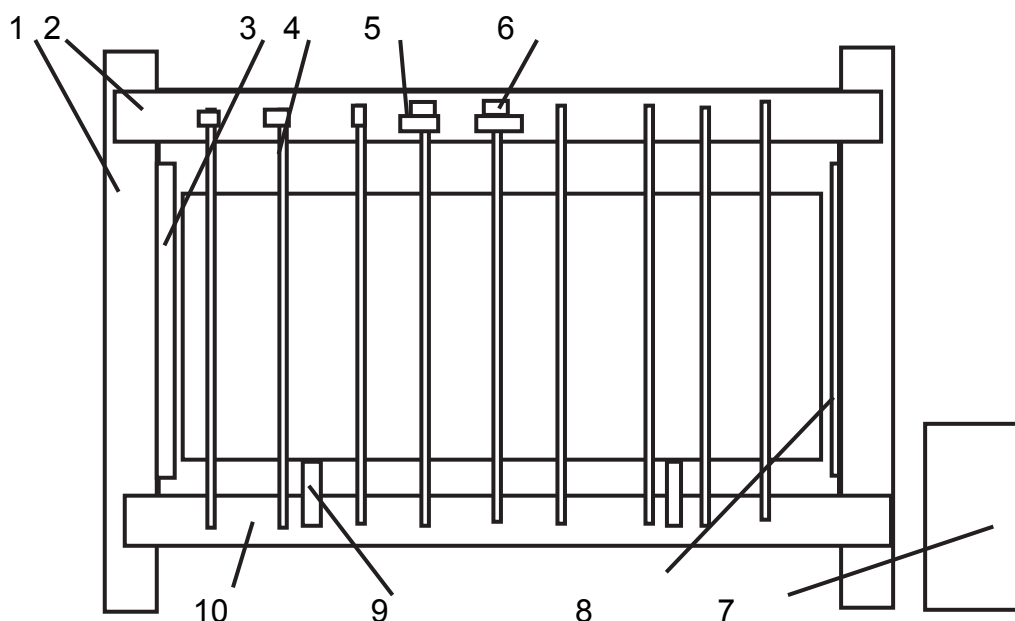


Рис. 6.16. Схема стапеля сборки элерона

Конструкция стапеля состоит из колонн 1, продольных верхних 2 и нижних 10 балок, базовых плит 3 для установки лонжерона и носка, рубильников 4, кронштейнов-фиксаторов или стаканов 5 с вилками 6, по которым устанавливаются рубильники, калибров разъемов 9 для установки узлов навески элерона. В стапеле имеется прижимная базовая плита 8 для фиксации законцовок лонжерона и носка. Рубильники можно поднимать, опускать и закрывать с помощью пульта управления 7. Сборку ведут с базированием по поверхности каркаса в переналаживаемом приспособлении, т.е. вначале для сборки каркаса используют каркасные рубильники, после сборки каркаса снимают с каркасных рубильников накладки, равные толщине обшивки и проводят окончательную сборку элерона, прижимая обшивку к каркасу обшивочными рубильниками. Этот способ базирования применяют для сборки непанелированной конструкции, имеющей тонкую обшивку (толщина обшивки меньше 1,0...1,5 мм).

Перед сборкой технологи цехов составляют таблицу условий поставки деталей и узлов (табл. 6.5), в которой отражены номера входящих сборочных единиц, вид поставки, степень законченности, сборочные базы.

В качестве сборочных баз принимаем:

**для носка** – внешнюю поверхность поясов лонжеронов (в продольном направлении носок фиксируется по упорам стапельной плиты);

**для лонжерона** – рубильники и упоры стапеля;

**для нервюр** – стойки лонжерона и ложементы рубильников;

для обшивок – поверхности каркаса (полки нервюр, поверхности пояса лонжерона).

Таблица 6.5

Условия поставки узлов и деталей на сборку элерона

Наименование детали	Номер детали	Эскиз узла	Вид поставки	Сборочные базы
Лонжерон	786.000.01		Обработан в окончательные размеры с узлами навески и стойками	Упоры стапеля
Носок	786.000.02		Обработан в окончательные размеры с просверленными НО	Пояса лонжеронов
Нервюры	786.000.03		Обработаны в окончательные размеры	Стойки лонжеронов, элементы рубильников
Нижняя обшивка	786.000.04		Полностью обработаны в окончательные размеры с НО	Каркас элерона
Верхняя обшивка	786.000.05		Полностью обработаны в окончательный размер	Каркас элерона
Профиль – нож	786.000.06		Обработан в окончательный размер	Прижимная плита и рубильники

Сборку элерона проводят в следующей последовательности:

1) **сборка в стапеле с каркасными рубильниками:**

- устанавливают носок с базированием на упоры стапеля по базовой плите;
- устанавливают лонжерон с узлами навески с базированием по калибрам узлов навески лонжерона;



- подводят прижимную плиту к законцовкам носка и лонжерона;
- по НО в обшивке носка сверлят и зенкуют отверстия по стыку носка с поясом лонжерона;
- соединяют носок с лонжероном заклепками ЗУК;
- устанавливают нервюры в стапель с базированием по стойкам лонжерона и по ложементам рубильника;
- по НО в стойках сверлят отверстия, устанавливают заклепки и соединяют лонжерон с нервюрами (применяют пневмодрели, пневмомолотки, переносные прессы);

- открывают рубильники и отводят прижимную плиту;

- вынимают каркас из стапеля и передают в другой стапель;

## **2) сборка в стапеле с обшивочными рубильниками:**

- устанавливают нижнюю обшивку с базированием на каркас, прижимают рубильниками, подводят прижимную плиту;

- по НО в нижней обшивке проводят совместное сверление лонжеронов и нервюр, проводят зенкование и клепку;

- открывают рубильники с другой стороны и отводят прижимную плиту;

- устанавливают верхнюю обшивку с базированием по поверхности каркаса и концевой профиль (нож), прижимают рубильниками;

- по НО в верхней обшивке совместно рассверливают и зенкуют обшивку с нервюрами и поясами лонжерона;

- открывают рубильники, отводят прижимную плиту;

- вынимают верхнюю обшивку и концевой профиль;

- очищают отсек от стружки;

- устанавливают в стапель верхнюю обшивку и концевой профиль;

- закрывают рубильники и подводят к концевому профилю прижимную плиту;

- проводят одностороннюю клепку верхней обшивки с каркасом (по полкам нервюр и поясам лонжерона) заклепками с сердечником;

- проводят зенкование обеих обшивок в месте установки профиля;

- проводят клепку профиля с обшивками потайной клепкой;

- отводят все фиксаторы и рубильники, вынимают изделие из приспособления.

Описанные операции сборки непанелированной конструкции отражают специфику недифференцированной сборки: большое количество операций, большую длительность цикла, применение маломеханизированных инструментов, сложное сборочное приспособление.

### 6.3. Сборка по базовым и сборочным отверстиям стапеля

Разберем этот вид базирования при сборке кессона отъемной части крыла самолета SSJ100.

**Сборочной базой** в этом случае являются **СО** и **БО** как в стапеле, так и в базируемых элементах изделия. Сборка ОЧК идет в стапеле «упрощенной конструкции» (электронная модель представлена на рис. 6.17). Стапель имеет мощный каркас *1*, элементы фиксации лонжеронов *2*, носков *3*, нервюр *4*. Кронштейны для прижимных лент *5* обеспечивают точность фиксации элементов кессона ОЧК. Стапель снабжен фиксаторами узлов навески пилона.

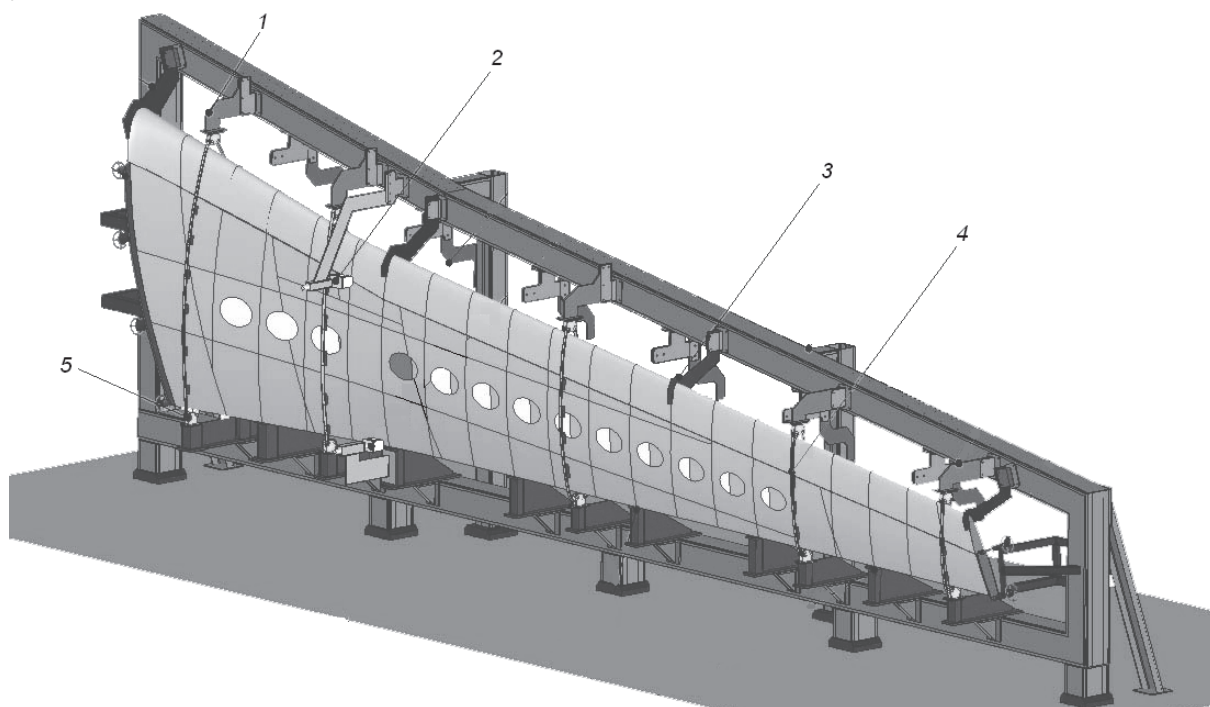


Рис. 6.17. «Упрощенная» схема стапеля для сборки ОЧК

На сборку кессона ОЧК поступают отработанные в окончательные размеры узлы: лонжероны, нервюры, панель верхняя и панель нижняя (панель имеет люки, через которые ведут клепку верхней панели), носок и хвостовая часть крыла.

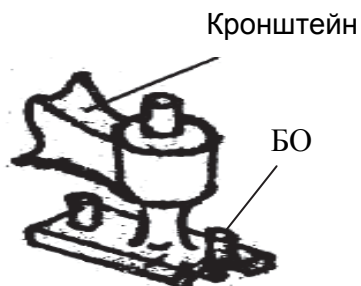


Рис. 6.18. Кронштейн с БО

На время сборки базовые отверстия стапеля (БО на кронштейнах) сопрягаются с базируемыми элементами изделия по ограниченному участку поверхности в зоне расположения БО (рис. 6.18).

Схема сборки кессона ОЧК представлена на рис. 6.19.

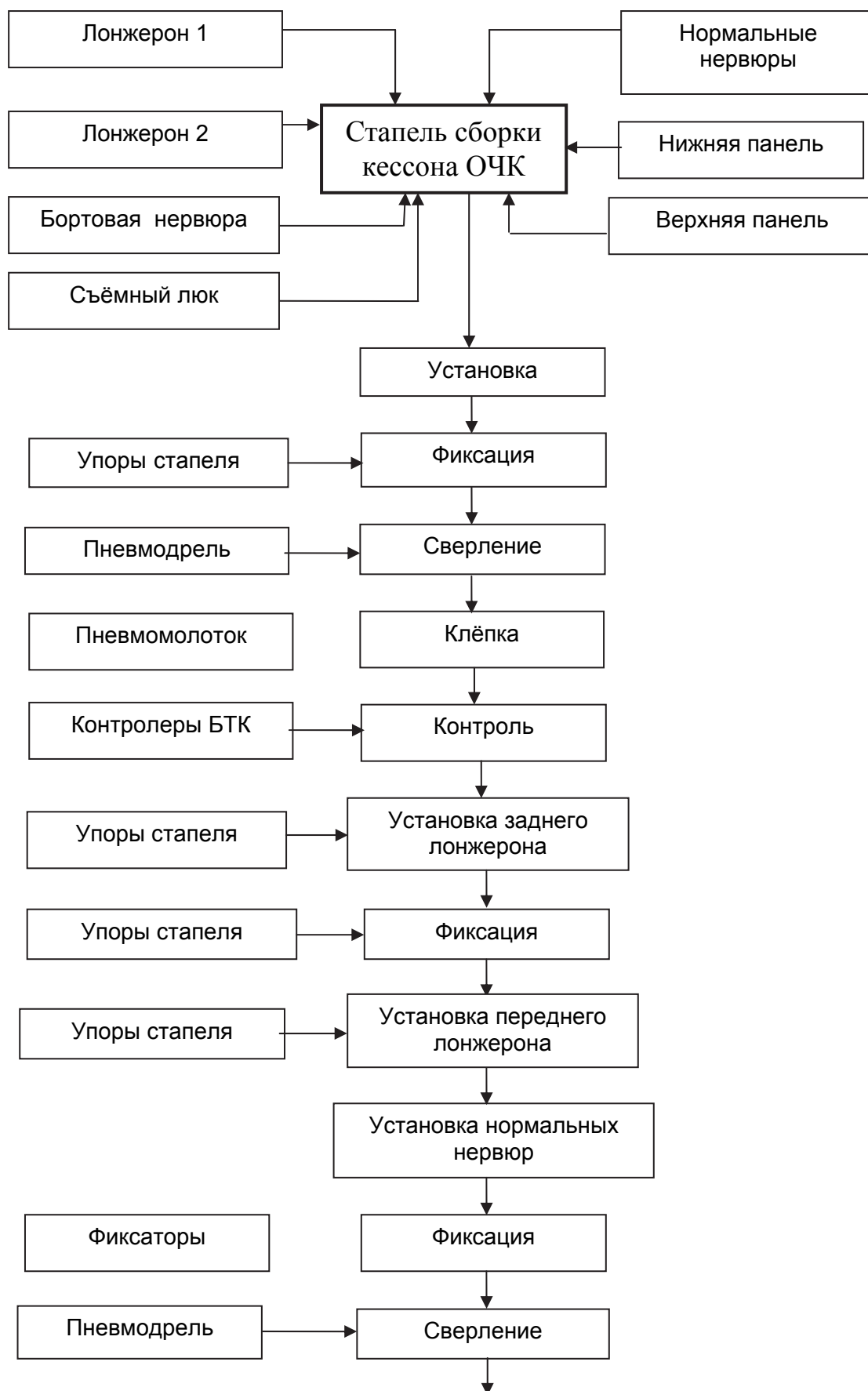


Рис. 6.19. Схема сборки кессона ОЧК в стапеле (начало)

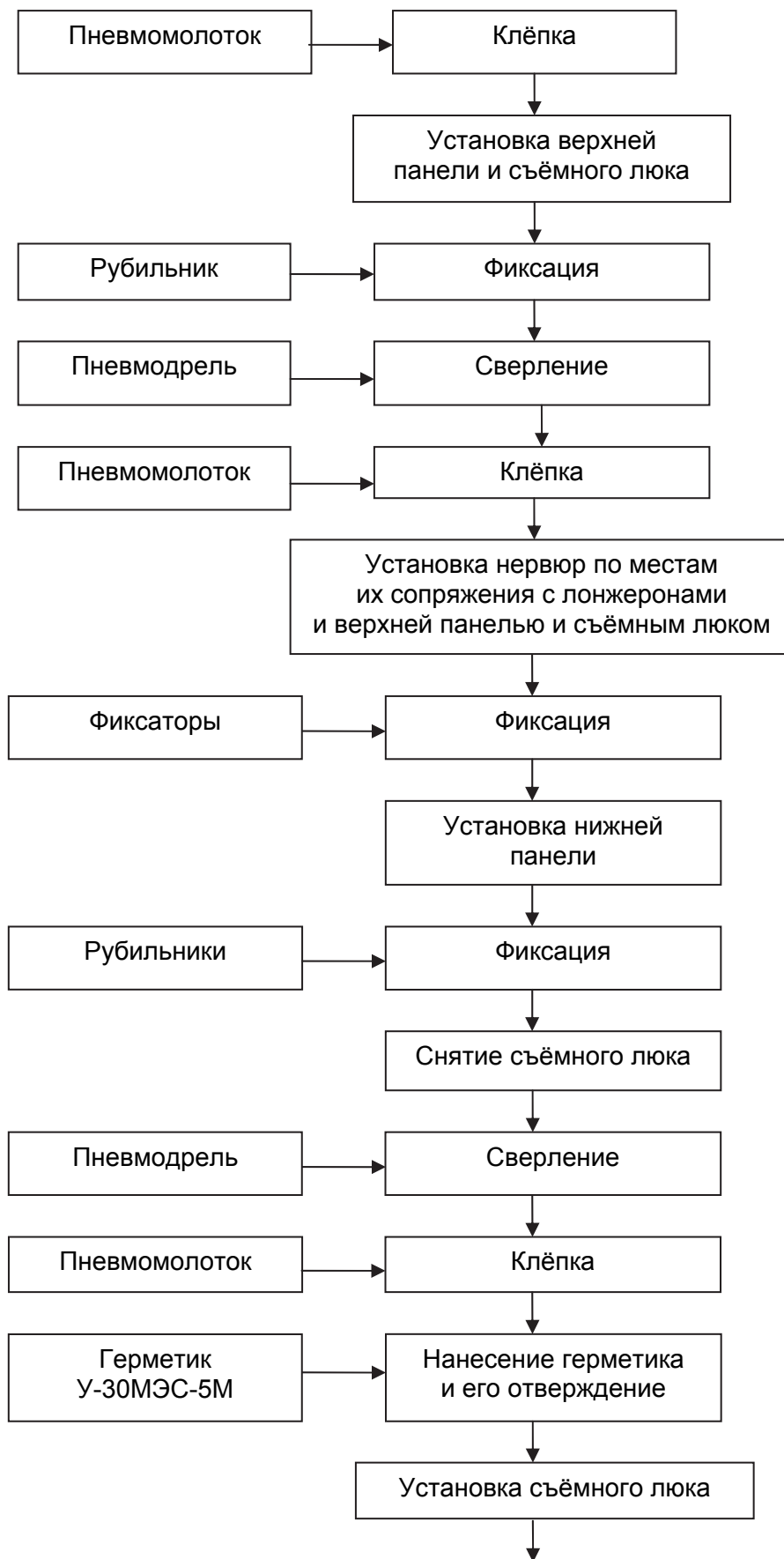


Рис. 6.19. Схема сборки кессона ОЧК в стапеле (продолжение)

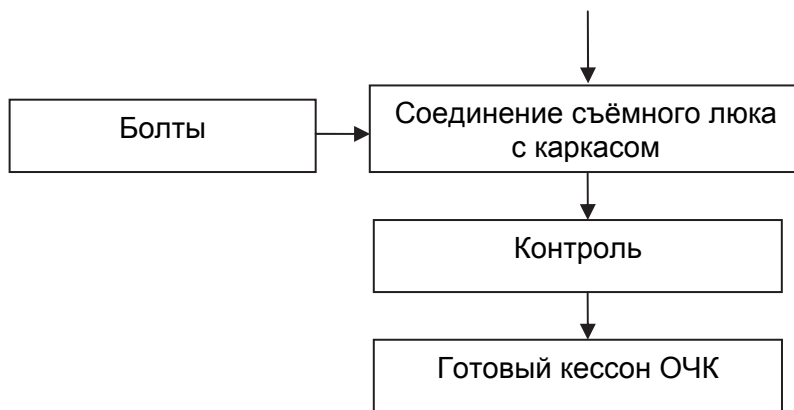


Рис. 6.19. Схема сборки кессона ОЧК в стапеле (окончание)

## 7. ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ЦЕНТРИРУЮЩИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ СБОРКЕ САМОЛЕТА

На агрегатной сборке для точного выставления отдельных узлов агрегата, разметки плоскости симметрии самолета (ПСС), строительной горизонтали самолета (СГС), осей агрегата и т.п., а также для точной стыковки отсеков агрегата относительно друг друга необходимо на поверхности агрегатов в определенных местах нанести реперные (или нивелировочные) точки.

Этот процесс называется *нивелированием*, при котором используют специальные контрольные метки – реперные точки.

Реперные точки выполняют на агрегате в виде накерненных точек и маркируют красными кругами диаметром 30 мм, толщина линии круга равна 5 мм.

Положение реперных точек задается нивелировочными чертежами на основании теоретических чертежей, электронной модели (ЭМ) агрегата.

Реперные точки наносятся на агрегаты различными способами: с помощью нивелиров и теодолитов, лазерных центрирующих измерительных систем (ЛЦИС) (рис. 7.1).

**Реперные точки**, нанесенные на поверхности агрегатов самолета согласно нивелировочной схеме или чертежу, **являются технологическими измерительными базами**.

ЛЦИС применяют достаточно широко в самолетостроении, особенно при сборке крупных агрегатов, при нивелировании самолетов, включая широкофюзеляжные, при сборке отдельных агрегатов друг с другом и при монтаже крупных стапелей.

С помощью ЛЦИС производят разметку и увязку базовых осей на каркасах агрегатов, контроль обводов аэродинамических поверхностей и нивелирование самолета.

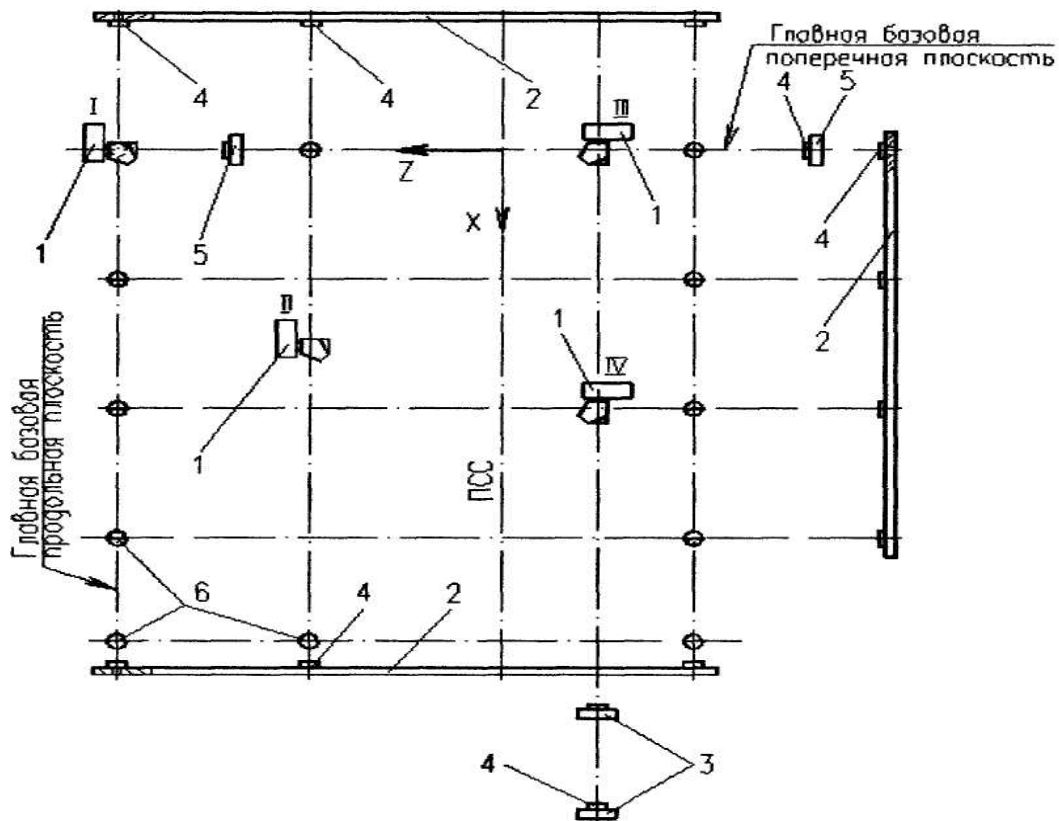


Рис. 7.1. Принцип разметки плановой (вид сверху) технологической координатной плиты при помощи нивелира-теодолита:

1 – нивелир-теодолит и его положение I, II, III, IV; 2 – координатная линейка; 3, 5 – технологические реперы; 4 – базовые целевые знаки; 6 – реперная плитка; ПСС – плоскость оси симметрии

В качестве примера на рис. 7.2 показана **схема разметки строительной горизонтали и вертикали внутри отсека фюзеляжа.**

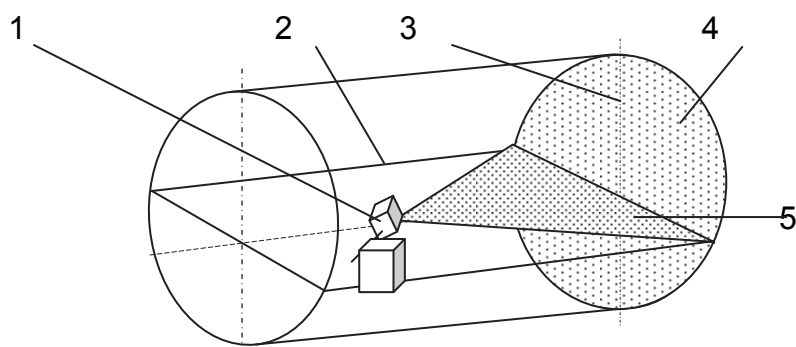


Рис. 7.2. Схема разметки строительных осей отсека фюзеляжа:  
 1 – лазерное сканирующее устройство с пентапризмой; 2 – строительная горизонталь самолета (СГС), размеченная лазерным лучом;  
 3 – строительная вертикаль; 4 – технологическая координатная плита;  
 5 – поверхность сканирования

Разметка производится с помощью лазерного сканирующего устройства (ЛСУ), имеющего лазерный излучатель, пентапризму сканера и блок питания лазера.

ЛСУ позволяет создать в пространстве световую плоскость, относительно которой выверяют расположение БО, нивелировочных реперных точек и баз агрегата, линий строительной горизонтали и вертикали агрегата. Необходимо иметь несколько лазерных излучателей, которые устанавливаются в разных местах так, чтобы создать видимые лазерные лучи. Видимые лазерные лучи проходят вдоль и поперек агрегата, создавая видимую координатную сетку.

В дополнение к ЛЦИС используют технологические координатные плиты (ТКП), относительно которых базируют лазерные лучи.

Различают вертикальные и горизонтальные ТКП, которые устанавливают жестко и с высокой точностью по торцам базового агрегата (или вблизи него).

Все наиболее важные точки, оси, плоскости изделия или стапеля проектируют на ТКП. Положение опорных лазерных лучей также задается с помощью ТКП. Например, для **стыковки отсеков фюзеляжа** создают горизонтальную базу из нескольких опорных лучей ЛЦИС (рис. 7.3).

Лазерные излучатели 1 базируются по отверстиям ТКП 2, заранее выставленных в вертикальной плоскости. Используя реперный манипулятор 4, перемещают отсеки фюзеляжа на стыковочных тележках 3 до совмещения строительной горизонтали фюзеляжа с опорными лучами ЛЦИС, после чего соединяют (стыкуют) отсеки в агрегат.

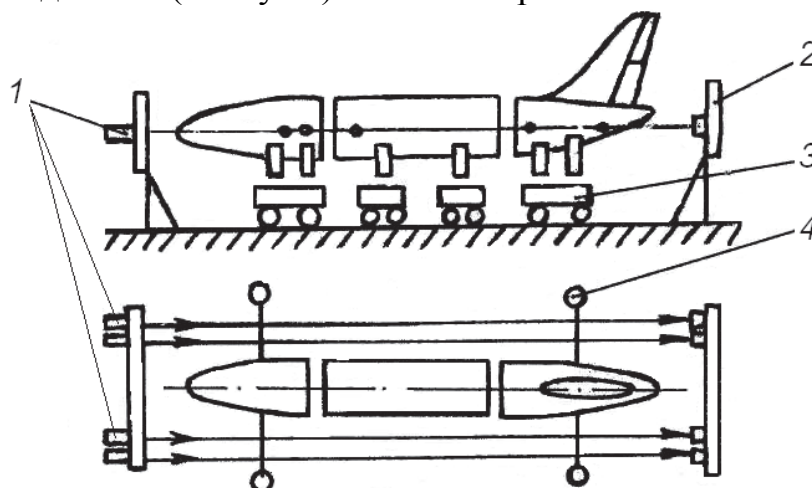


Рис. 7.3. Стыковка отсеков фюзеляжа с помощью ЛЦИС

В настоящее время в производство самолетов внедряются перспективные методы стыковки с применением лазерных трекеров и компьютерных систем.

На рис. 7.4 представлен вариант стыковки отсеков фюзеляжа.

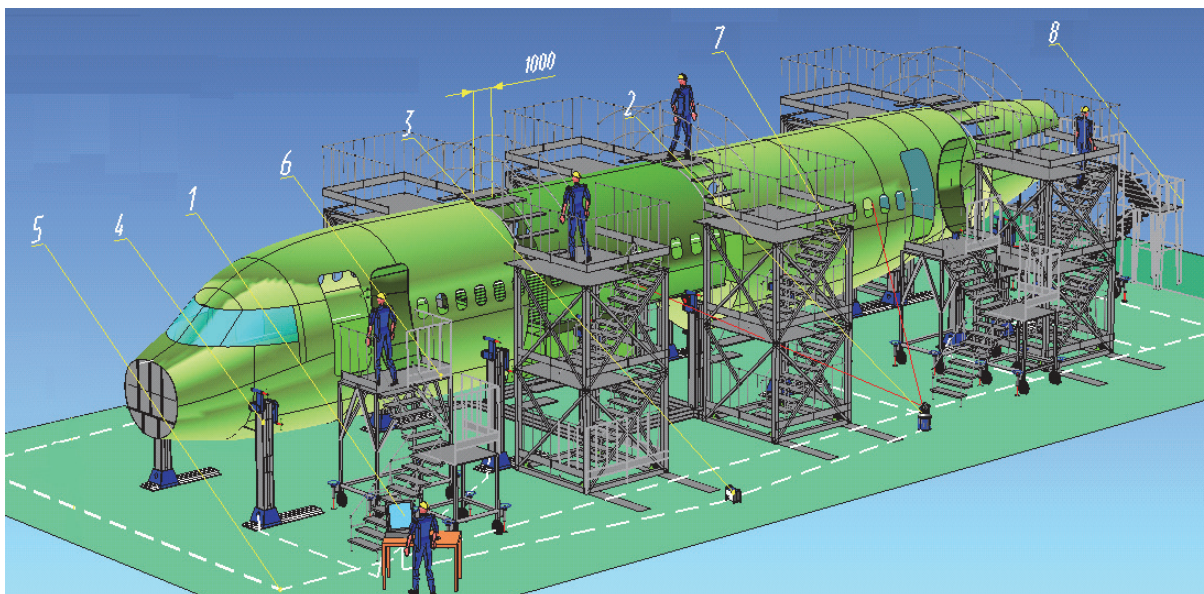


Рис. 7.4. Вариант станда стыковки отсеков фюзеляжа с применением лазерного трекера:

- 1 – компьютер; 2 – трекер; 3 – контроллер; 4 – колонна подвижная с ложементами; 5 – каналы проводки; 6 – трап-стремянка; 7 – рабочее место; 8 – стремянка ЗХО

## 8. ОБЩАЯ СБОРКА САМОЛЁТА

**Общая сборка** – заключительный этап сборочных работ, на котором отдельные отсеки и агрегаты соединяются в конструкцию планера, проводятся установка оборудования специальных систем, не установленных в цехах агрегатной сборки, а также проверка работоспособности всех органов управления и систем самолёта.

В зависимости от типа самолёта, его назначения на общей сборке проводятся и стыковка агрегатов между собой, и монтаж приборов и оборудования секретного назначения, а также контроль взаимного расположения агрегатов относительно друг друга.

Трудоёмкость сборочных работ в цехах общей сборки зависит от назначения самолёта, его типа, от применяемых технологических схем и методов сборки.

На общую сборку самолёта рекомендуют выносить следующие виды работ:

- соединения по стыкам отдельных агрегатов (фюзеляж-крыло; фюзеляж-оперение; фюзеляж-шасси или крыло-шасси);
- монтаж и установку на самолёте приборов, различного оборудования, органов управления, которые не были поставлены в агрегатных цехах (например: секретное оборудование, оптические системы, системы наведения, которые на агрегатной сборке заменяются муляжами или макетами);



- проверку, испытание, регулирование всех систем, приборов, органов управления, установленных на самолёте;
- проведение нивелировочных работ и весовой контроль самолёта;
- наземные и летные испытания.

Уменьшения цикла сборочных работ на общей сборке самолета можно добиться *снижением трудоёмкости* сборочных работ и *максимальным увеличением числа работающих*.

Вопросам стыковки агрегатов уделяется особое внимание, так как обеспечить взаимозаменяемость по стыкам и разъемам агрегатов – достаточно сложная задача.

Для агрегатов, поступающих на общую сборку, должны соблюдаться два следующих условия:

1) агрегат поступает на общую сборку максимально *завершенным технологически* и обработанный в окончательные размеры. Это означает, что по внешнему аэродинамическому контуру агрегаты полностью взаимозаменяемые, а по стыкам и разъемам агрегаты могут быть выполненными взаимозаменяемыми и невзаимозаменяемыми. Для обеспечения взаимозаменяемости по стыкам невзаимозаменяемых агрегатов в комплекс стыковочной и разделочной оснастки входят фрезерные и расточные станки;

2) агрегат должен быть максимально *взаимозаменяемым* по стыкам, разъемам, коммуникациям, которые выходят на стык агрегата.

Поступающие в цех общей сборки агрегаты в зависимости от типа производства могут быть *полностью или не полностью взаимозаменяемыми по стыкам*.

Если агрегаты полностью *взаимозаменяемы* по стыкам, то соединение агрегатов сводится к выполнению следующих операций:

- установке (перемещению) основного базового агрегата в «линию полёта»;
- установке (перемещению) базированного агрегата относительно базового, при этом должно быть обеспечено совпадение стыковых плоскостей, отверстий, вилок, гребенок базового и базированного агрегатов;
- соединению агрегатов, которое сводится к установке различного рода нормалей (болтов, винтов, шурупов, гаек и т.д.), затяжке соединительных элементов и их контровке (фиксации крепёжного элемента в затянутом положении). После сопряжения отсеков устанавливаются болты, проводят предварительную затяжку гаек сначала простыми ключами, затем тарировочными, чтобы не превысить требуемый крутящий момент предварительной затяжки гаек. В технологических картах отмечается, что затяжку болтов необходимо вести перекрёстно, чтобы не вызвать перекоса отсеков.

Соединение отсеков обычно проводят либо на специальных тележках, имеющих регулируемые по высоте и в боковом направлении ложементы (рубильники), либо специальных стыковочных стендах, имеющих

также систему базовых зажимных и фиксирующих устройств. Затем после затяжки проверяют отсутствие зазоров по стыкам. Зазор по стыкам отсеков не должен быть больше 0,2...0,3 мм;

- контролю правильности установки агрегатов друг относительно друга (угол установки крыла относительно фюзеляжа, угол поперечного V крыла, угол стреловидности крыла и т.д.), т.е. проведению нивелировочных работ.

После этого проверяют нивелированием прямолинейность оси всего агрегата.

При соединении *невзаимозаменяемых* отсеков используют технологические припуски (компенсаторы) в местах расположения СО и НО.

В этом случае базируемые отсеки на общую сборку поступают с не точно расположенными и даже уменьшенными СО, которые совместно разделяются только после установки базируемых и базовых отсеков агрегата в требуемое положение. Далее выполняют операции, аналогичные для взаимозаменяемых отсеков.

В производстве лёгких самолётов вместо стыковочных стендов применяют безнивелировочные стенды, которые позволяют упростить и даже не проводить трудоёмкую операцию нивелировки агрегатов при сборке планера.

Упрощённая схема безнивелировочного стенда стыковки ОЧК с центропланом приведена на рис. 8.1.

Безнивелировочный стенд имеет упоры 1, 2 на концах крыльев, которые точно выставлены (пронивелированы) заранее. Поверхность, на которую укладывается ОЧК, образует зеркально отображённый обвод теоретического контура крыла. Поддерживающие опоры вводятся, если ОЧК имеет большой размах, их функция – предупредить провисание ОЧК от собственного веса. Высокоточные ложементы по стыку располагаются в местах стыка центроплана с ОЧК.

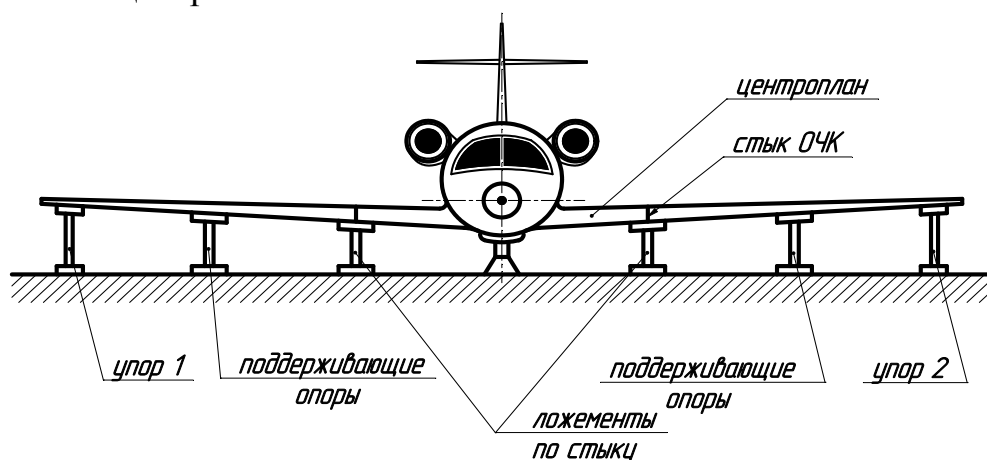


Рис. 8.1. Схема безнивелировочного стенда

Ложемент имеет калибры стыка, БО, обеспечивающие точную стыковку. Ложементы по стыку имеют фиксаторы, которые соответствуют положению вилок, проушин агрегата.

После того как проведена стыковка отсеков фюзеляжа, внутри планера в местах стыковки отсеков соединяют все проводки, коммуникации, тяги, тросы управления и трубопроводы различных систем специальными штепсельными разъёмами (ШР).

Подсоединение ШР проводят с условием, чтобы предусмотреть компенсационный припуск на длину тросов и коммуникаций, учитывая деформации агрегатов планера в полёте самолёта.

### 8.1. Организационные формы общей сборки самолёта

Для серийного производства основной формой организации сборочных работ в цехах общей сборки является **поточная сборка**.

Сборочные работы на общей сборке самолёта могут выполняться по двум вариантам (рис. 8.2):

- 1) перемещение самолёта вдоль поточной линии;
- 2) перемещение отдельных бригад от самолёта к самолёту, при этом самолёт остаётся на одном месте в течение всей сборки.

На общей сборке самолёта технологические процессы сборки заменяются стендовыми заданиями, которые представляют собой тоже технологические процессы, но по установке приборов и оборудования, прокладке коммуникаций и по соединению отдельных агрегатов в единый планер. Перемещение самолётов вдоль поточной линии (1-й вариант) проводят либо тягачом от одного стенда к другому, либо на специальных тележках, если проложен рельсовый путь.

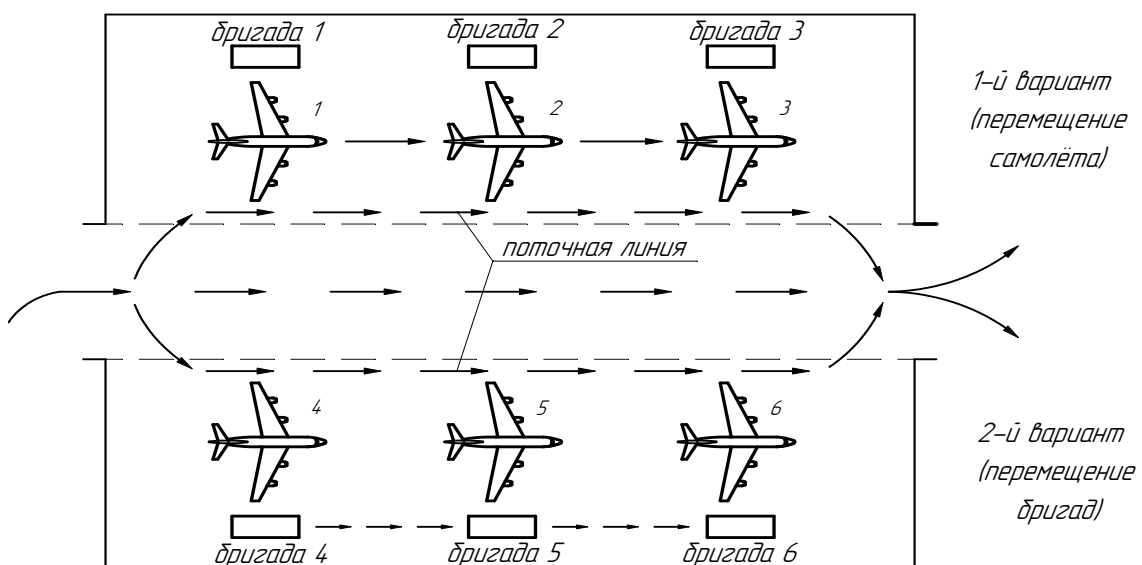


Рис. 8.2. Перемещение самолетов в цехах общей сборки

В зависимости от занимаемой площади в цехах общей сборки самолёты могут устанавливаться различно по отношению к поточной линии (рис. 8.3).

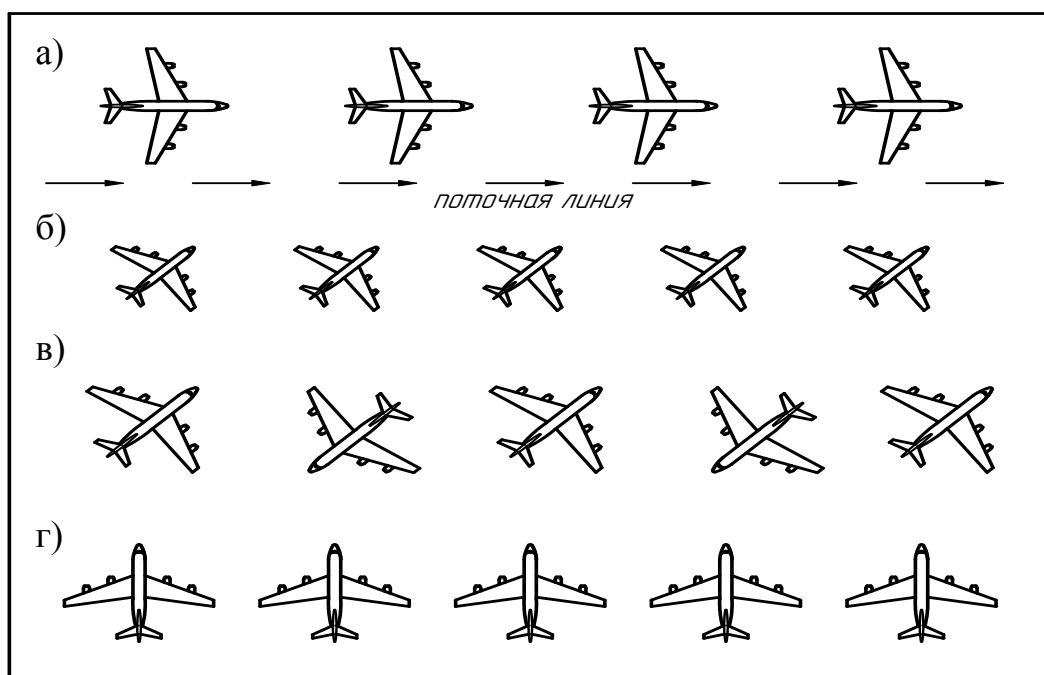


Рис. 8.3. Расположение самолетов на общей сборке: а – по поточной линии; б – под углом к поточной линии в одну сторону; в – под углом к поточной линии в разные стороны; г – поперечное расположение

Собранный в цехе общей сборки и окончательно принятый по сборке самолёт проходит операцию нанесения лакокрасочных покрытий, трафаретных надписей в специальных малярных цехах.

В малярных цехах самолёт покрывают бесцветными лаками и красками, затем с помощью трафаретов наносят надписи по эксплуатации, опознавательные знаки, гербы, символы и номер самолёта, если он поступает в войсковую часть.

Процесс нанесения лакокрасочных покрытий трудоёмок и длится 2 – 3 суток, так как лаки и краски наносятся в несколько слоев, и требуется время для сушки каждого слоя.

## 8.2. Особенности нивелировочных работ

Нивелирование самолёта является заключительным этапом общей сборки самолёта.

Целью таких нивелировочных работ является контроль правильности стыковки отдельных агрегатов относительно друг друга и контроль допустимых отклонений органов управления (элеронов, закрылков, рулей высоты и направления) самолетом.

Геометрические параметры самолёта (габаритные, углы установки крыла, оперения, углы стреловидности крыла) задаются на чертежах общего вида. На основе этого чертежа разрабатываются нивелировочные чертежи, где указываются положения реперных точек, где углы установки агрегатов выражены через координаты положения специальных реперных точек (рис. 8.4).

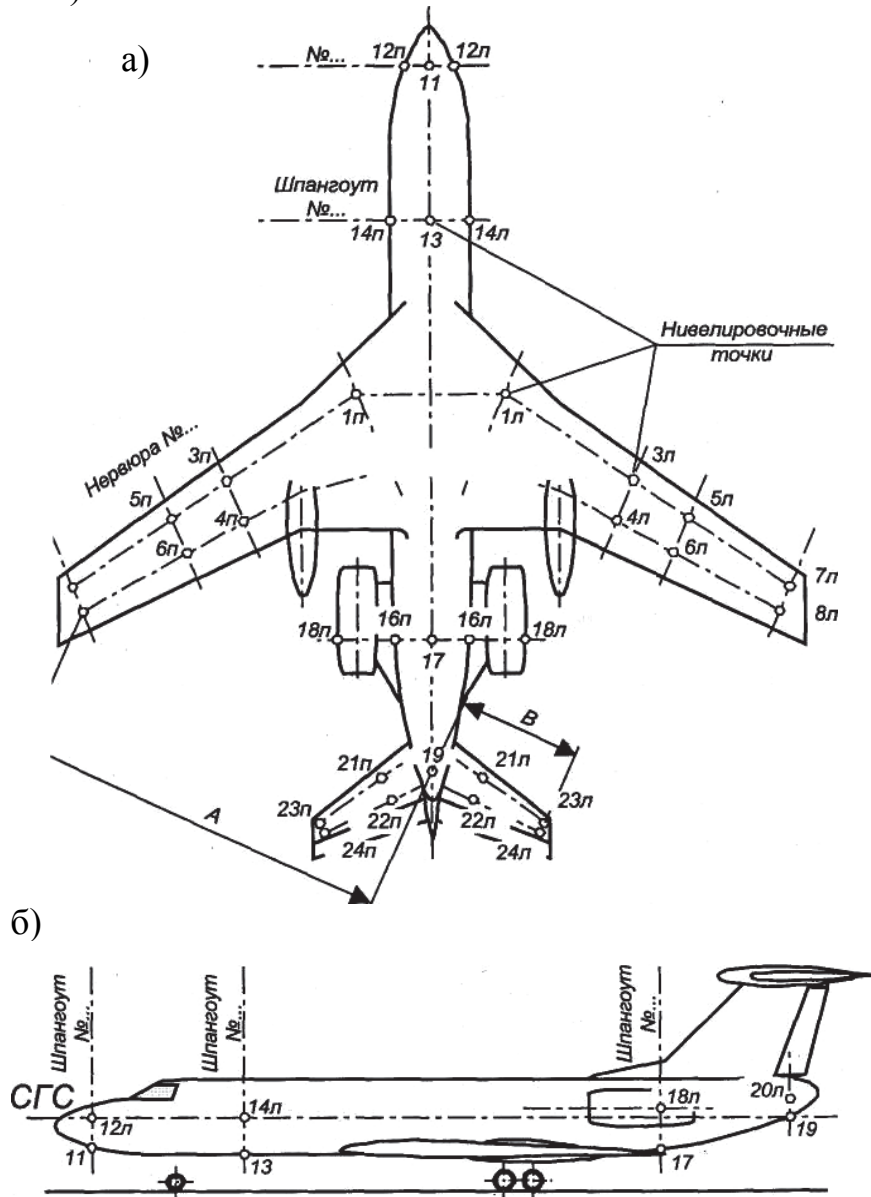


Рис. 8.4. Фрагмент нивелировочного чертежа самолета:  
а – вид сверху; б – вид сбоку

На нивелировочном чертеже приводятся таблицы, в которых указаны относительные координаты всех реперных точек в проекции реперной точки на горизонтальную и вертикальную плоскости.

Кроме того, в таблицах задают допуски на возможные отклонения реперных точек в зависимости от применяемого оборудования (например: обычные линейки, оптическое оборудование, лазерное оборудование).

При использовании лазерной системы ЛЦИС процесс нивелирования становится более наглядным, так как плоскости нивелирования видимые (тонкие плоскости имеют красный, оранжевый цвета). При применении лазерных систем очень долгое время занимают подготовка и наладка оборудования. Лазерные системы эффективно применять на расстоянии до 100...200 м, дальше лучи становятся размытыми, точность измерений падает.

Применение ЛЦИС позволяет сократить количество эталонной оснастки на 10 – 15 %, а трудоёмкость монтажа ступеней уменьшить на 25 – 30 %.

**Подготовка к нивелированию.** Нивелирование самолета проходит поэтапно.

На *первом* этапе ведут подготовительные работы. Самолет устанавливают на регулируемые по высоте опоры на специальной площадке с изолированным фундаментом. Оптические приборы выставляют в рабочее положение относительно ТКП и координатных линеек. При этом учитывают, чтобы прибор обеспечивал хороший обзор всех реперных точек (применяется от 10 до 20 нивелиров и теодолитов или лазеров). Затем выверяют приборы на расчётные уровни.

Горизонтальные технологические координатные плиты устанавливаются по реперным площадкам, а вертикальные ТКП задают в виде жестких вертикальных плит и координатных линеек. Линейки несут систему координатных отверстий для базирования лазерных лучей от излучателей.

На *втором* этапе проводят установку самолета в линию полета. Самолет выставляют в линию полета так, чтобы продольная и поперечная оси располагались в горизонтальной плоскости. Горизонтальность проверяют по четырем точкам (две на крыле и две на фюзеляже).

Затем проводят собственно нивелирование самолета. Проверяют положение нивелировочных точек в соответствии с нивелировочно-регулирующим чертежом и таблицей. Данные заносят в нивелировочный паспорт. Паспорт сопровождает машину весь период эксплуатации.

В случае если нивелировочная точка вышла за пределы допуска - эксплуатация изделия не допускается. При этом должны быть выявлены и устранены причины, вызвавшие дефект (проверены ступени сборки агрегатов, разделочные стенды, контрольно-измерительные приспособления). Тщательно проверяют трафареты для нанесения реперных точек.

На рис. 8.5 показана схема проверки реперных точек 1 с помощью ЛЦИС 2 и видимых лазерных лучей 3, размещенных по строительным осям самолета 5 и перпендикулярно горизонтальной плоскости в местах

расположения реперных точек самолета. Положение реперных точек по высоте контролируют относительно горизонтальной плоскости, образованной лазерными лучами 4, с помощью специальных мерных штанг 6, которые предварительно по лазерным лучам выставляются перпендикулярно плановой проекции самолета или горизонтали.

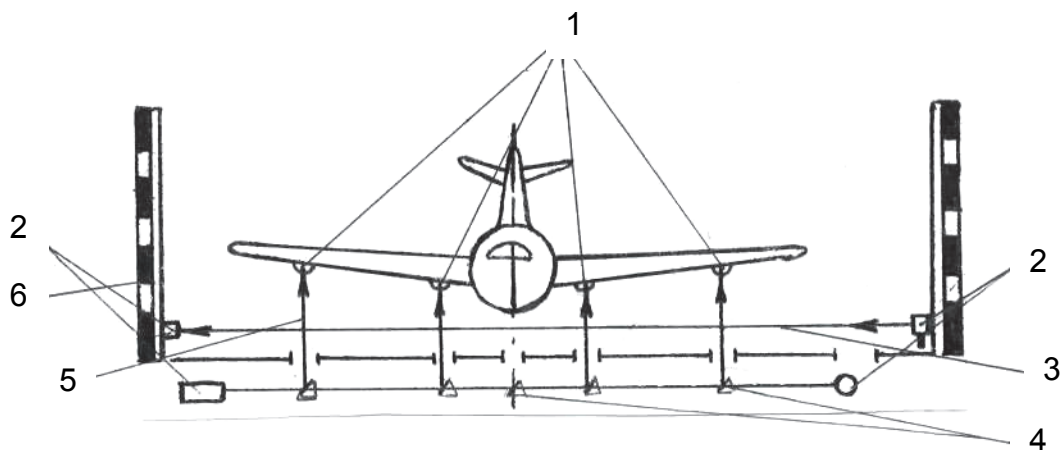


Рис. 8.5. Проверка точности стыковки крыла с фюзеляжем по реперным точкам с помощью ЛЦИС

Стыковку агрегатов самолета начинают с установки фюзеляжа в горизонтальное положение на гидравлических подъемниках так, чтобы лазерные лучи, идущие снизу, попадали на реперные точки.

С помощью блока индикации (позиционно-чувствительного целевого знака (ПЧЦЗ)) добиваются наиболее точного расположения агрегатов относительно базовых осей в плановой проекции самолета.

Система ЛЦИС состоит из лазерного излучателя, базового знака и ПЧЦЗ, который является фотоэлектрическим приемником светового излучения и служит для центрирования целевого знака по оси луча лазера. Фоторезисторы ПЧЦЗ преобразуют световую энергию лазерного луча в электрический сигнал, регистрируемый блоком индикации. При совпадении оси лазерного луча с центром ПЧЦЗ блок индикации регистрирует нулевой уровень сигнала. Чувствительность (точность) индикации с помощью ПЧЦЗ лежит в пределах  $\pm 0,05$  мм.

На рис. 8.6 представлен пример стенда разделки стыковых узлов и стыковки агрегатов хвостовой части самолета с помощью ЛЦИС, которая в этом случае выполняет следующие функции:

- контролирует нивелировочные точки агрегатов хвостовой части самолета до стыковки, в процессе стыковки и после стыковки;
- контролирует угловое положение узлов навески специальных подвесок относительно осей изделия.

### 8.3. Особенности аэродромной отработки

После нивелирования проводится аэродромная отработка самолёта в специальных аэродромных цехах, где размещены контрольно-испытательная станция (КИС) и лётно-испытательная станция (ЛИС). Цель аэродромной отработки – окончательная проверка изделия на соответствие ТУ и эталонному образцу.

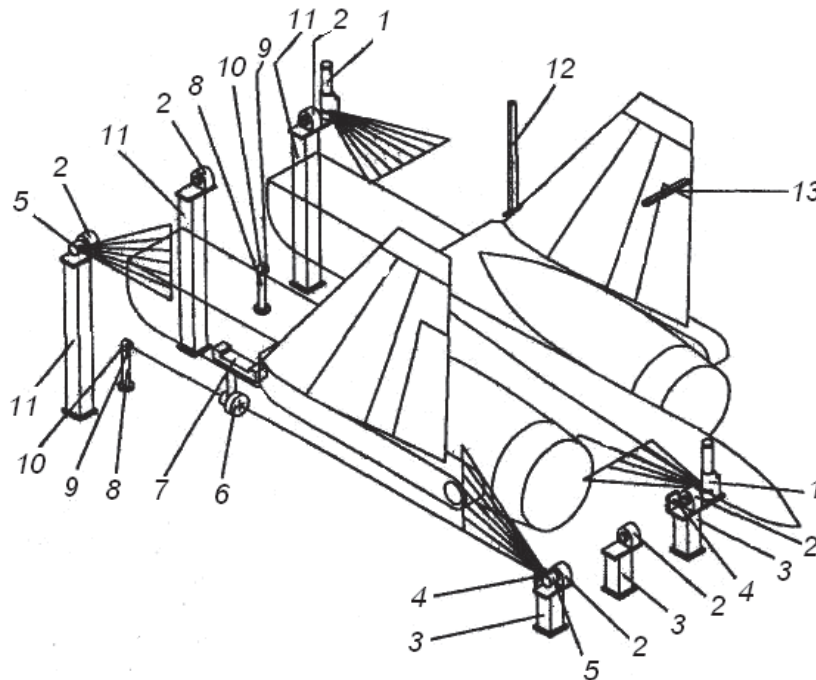


Рис. 8.6. Лазерная измерительная система для стыковки хвостовой части самолета:

- 1 – лазерный нивелир; 2 – подставка; 3, 8, 11 – координатные стойки;
- 4 – мишень; 5 – сканирующий узел; 6 – зеркальный датчик;
- 7 – технологическое приспособление; 9 – визуальный целевой знак;
- 10 – координатор; 12 – нивелирная линейка; 13 – измерительная линейка

Аэродромная отработка включает **наземные** и **лётные испытания**.

**Наземные испытания** выполняют на контрольно-испытательной станции аэродромного цеха.

В состав КИС входят: стенды проверки и отработки систем, заправочные станции, спецплощадки, лаборатории с соответствующим оснащением приборами и контрольной аппаратурой.

#### 8.3.1. Содержание работ в КИС аэродромного цеха

Типовая планировка аэродромного цеха представлена на рис. 8.7.

Перечень выполняемых работ на контрольно-испытательных станциях аэродромного цеха следующий:



1) Приемка самолета от цеха окончательной сборки, проверка на отсутствие механических повреждений, царапин, ударов; проверка на комплектность и законченность установки систем оборудования и управления, транспортировка к блоку контрольно-испытательных стендов. Для этого самолёт выкатывают на специальную площадку, которая находится на выходе из цеха общей сборки, или транспортируют самолёт в аэродромный цех.

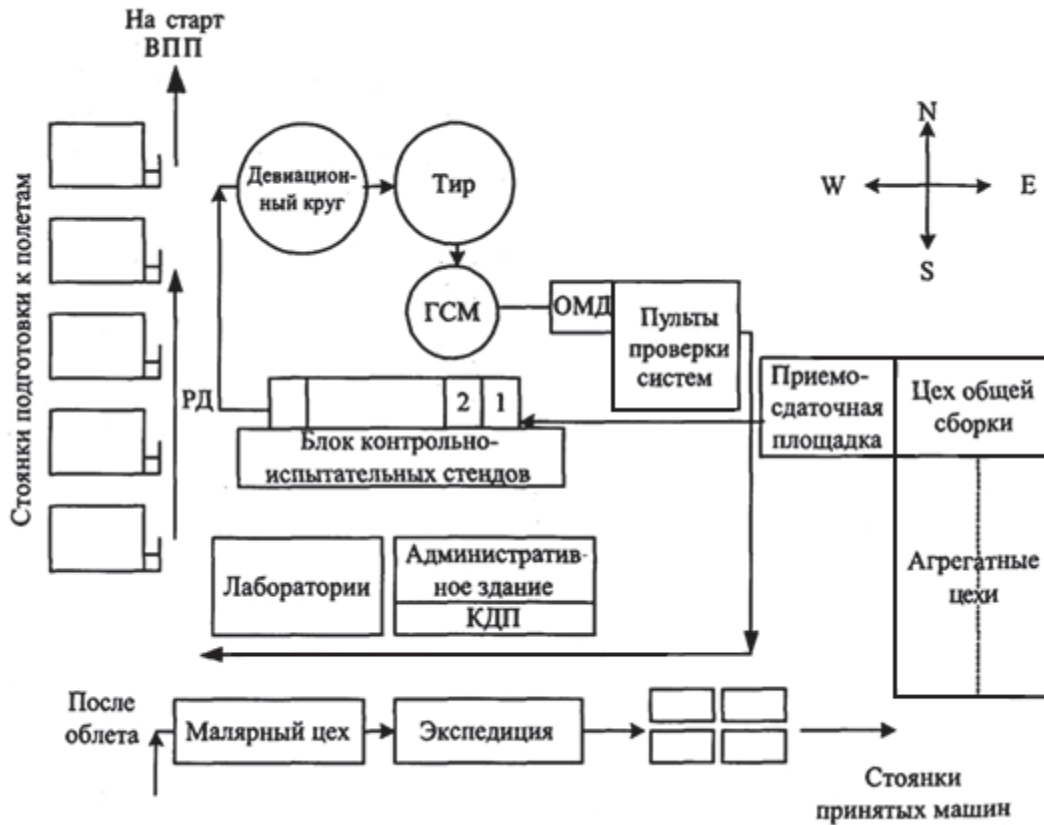


Рис. 8.7. Типовая планировка аэродромного цеха:

ОМД – обработка моторов и двигателей;

КДП – контрольно-диспетчерский пост

2) Контроль и обработка основных систем самолета, которая включает обработку:

- **системы управления** – срабатывание, положение и синхронность отклонения рулей, элеронов, триммеров, механизации крыла;
- **системы шасси** – подъем и выпуск ног, последовательность срабатывания, сигнализация, аварийный выпуск шасси, работа тормозной системы;
- **системы электрооборудования** – проверка цепей под током, работа электрических машин, механизмов, осветительных устройств, электронavigационного и приборного оборудования;
- **контроль радиолокационного оборудования** – проверка работоспособности, настройки, громкости, срабатывание световых и звуковых

индикаторов (антенны, высотомера, радиокompаса, радиостанции, переговорных устройств);

- **газовых систем** – обработка противопожарных, воздушных, кислородных систем, систем кондиционирования и т.д. (срабатывание клапанов, сигнализации и т.д.).

Работы проводятся в блоке КИС с последовательной передачей самолета от стенда к стенду.

3) Устранение (списание) радиомангнитной девиации. Определение углов расхождения радиополукомпыаса с курсовыми углами радиостанции. Устранение девиации осуществляется размещением внутри планера самолета катушки небольших магнитов. Работы производятся на спецплощадках – девиационных кругах. Площадки должны быть удалены от производственных зданий на 200...300 м. Самолет устанавливают на круг, вращающийся на 360°. В нескольких точках по кругу площадки снимают показания компаса.

4) Отработка спецсистем, которая производится в специальных ангарах, тирах. Содержание работ определяется видом и конструкцией систем – это могут быть пристрелка, сбрасывание грузов, срабатывание пусковых устройств, замков и пр.

5) Отработка топливной системы при соблюдении всех противопожарных мероприятий. Производится на спецплощадках горюче-смазочных материалов (ГСМ). Топливные баки самолета заполняют топливом, элементы систем смазывают смазками. Проверяют герметичность баков, емкостей, трубопроводов, проводят контроль по подтекам. При обнаружении течей топливо полностью сливают, выветривают системы, устраняют дефекты. Работы идут на открытом воздухе.

После устранения дефектов при повторно заправленных системах топливом, смазкой, воздухом, газами и пр. вновь проверяют работу всех систем и сигнализаторов. Затем проводят контрольный слив горючего в порядке выработки его из баков. И вновь в течение выработки проверяют показатели всех измерительных приборов.

6) Отработка двигателей. Необходимо, чтобы были приведены в рабочее состояние тормозные колодки, заземление, средства пожаротушения. Производится на спецплощадках. Самолет транспортируется к пультковой, где готовят двигатель к запуску, проверяют работы двигателя на соответствующих режимах. Контролируют время выхода двигателя на режим, температуру, число оборотов, давление и другие параметры.

7) Проверка функционирования систем при работающих двигателях. Окончательный контроль работоспособности систем при бортовых источниках питания, контроль показаний приборного оборудования.

**Летные испытания.** Летные испытания выполняют на летно-испытательной станции. В состав ЛИС входят взлетно-посадочные полосы

(ВПП) с соответствующим световым и радиолокационным оборудованием, командно-диспетчерский пункт, рулежные дорожки, площадки – стоянки самолетов, ангары.

ЛИС оснащена транспортными средствами (тягачами, заправщиками, машинами для ухода за аэродромом) и приспособлениями для обслуживания самолетов (гидроподъемниками, стремянками, спецкранами и пр.).

Испытания проводят по соответствующим программам. Выполняют программы в несколько этапов с последовательным усложнением задач полетов до полной проверки соответствия летно-технических данных самолета техническим условиям.

### **8.3.2. Содержание работ при летных испытаниях**

**Подготовка самолета к полету** предусматривает предполетный осмотр и контроль систем.

На отработочных площадках и площадках подготовки самолета к полету проводятся следующие работы:

1) **сдаточные испытания** самолета экипажем завода. Проверяют взлетные свойства самолета, работу двигателей и систем при наборе высоты, устойчивость и управляемость самолета при разгоне, торможении, работу радиооборудования и других систем, поведение самолета при снижении, полете по кругу, заходе и посадке;

2) **послеполетный осмотр** самолета, устранение дефектов, предъявление самолета через бюро цехового контроля (БЦК) заказчику;

3) **подготовка самолета к полету** экипажем заказчика. Работы выполняет служба заказчика совместно с БЦК завода;

4) **контрольно-приемочные испытания** самолета экипажем заказчика. Задания на эти испытания устанавливает заказчик;

5) **послеполетный осмотр**, устранение замечаний заказчика.

Работы по наземным и летным испытаниям организуют по потоку. Самолет проходит по маршруту от одного рабочего места к другому. Рабочие места (стенды, спецплощадки, ангары, боксы и пр.) должны быть оборудованы средствами объективного контроля и отработки систем.

После летных испытаний производят:

- окраску, отделку самолета в малярном цехе;
- оформление технической документации в отделе «Экспедиция»;
- комплектацию и консервацию съемного оборудования и запасных частей;
- передачу или транспортировку самолета заказчику.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авиационная промышленность является одной из наиболее наукоемких отраслей, позволяющей выпускать самые совершенные конструкции.

Современный уровень развития самолетостроения требует системного подхода к производству, при котором весь комплекс объектов и явлений, связанных с производством изделия, рассматривается как производственная система, в которой реализуется производственный процесс изготовления изделия.

Составной частью производственного процесса является технологический процесс сборки элементов планера самолета и всего планера, который выполняется с помощью средств технологического оснащения, включающих в себя технологическое оборудование и технологическую оснастку.

Поэтому важнейшей частью производственной системы является технологическая система – совокупность функционально взаимосвязанных элементов производственной структуры предприятия, средств технологического оснащения производства и исполнителей, выполняющих в регламентированных условиях технологические процессы сборки – производства изделия в соответствии с требованиями нормативно-технологической документации.

Основным показателем высокого качества сборки планера самолета является точность геометрических размеров и форм и взаимозаменяемость узлов и агрегатов планера самолета.

Материал, изложенный в учебном пособии, является базой для изучения и составления реальных технологических процессов, связанных с проектированием технологических сборочных процессов самолетных узлов и агрегатов.

Приведенные сведения позволят разрабатывать процессы сборки конструкции самолета в соответствии с требованиями современного авиационного производства.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Абибов, Б. А.** Технология самолётостроения : учеб. пособие / Б. А. Абибов. – М. : Машиностроение, 1982. – 551 с.
2. **Братухин, А. Г.** Приоритеты авиационных технологий : в 2 т. / А. Г. Братухин. – М. : Изд-во МАИ, 2004. – Т. 1 – 2.
3. **Гусева, Р. И.** Технологические процессы сборки планера самолёта : учеб. пособие / Р. И. Гусева. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КнАГТУ», 2010. – 149 с.
4. **Гусева, Р. И.** Теоретические основы сборки самолета : учеб. пособие / Р. И. Гусева, А. В. Вялов. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КнАГТУ», 2005. – 96 с.
5. **Пекарш, А. И.** Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов / А. И. Пекарш, Ю. М. Тарасов, Г. А. Кривов. – М. : Аграф-пресс, 2006. – 304 с.
6. **Иванов, Ю. Л.** Современные технологические процессы сборки планера самолета / Ю. Л. Иванов. – М. : Машиностроение, 1999. – 304 с.
7. **Бабушкин, А. И.** Методы сборки самолетных конструкций / А. И. Бабушкин. – М. : Машиностроение, 1985. – 278 с.
8. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов / Б. Н. Марьин, В. Ф. Кузьмин, А. И. Пекарш [и др.]. – М. : Аграф-пресс, 2006. – 304 с.
9. **Бабушкин, А. И.** Моделирование и оптимизация сборки летательных аппаратов / А. И. Бабушкин. – М. : Машиностроение, 1990. – 248 с.
10. Технология сборки самолетов : учеб. для студентов авиационных специальностей вузов / В. И. Ершов, В. В. Павлов, М. Ф. Каширин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1986. – 456 с.
11. Современные технологии авиастроения : производственное изд. / А. Г. Братухин, Ю. Л. Иванов, Б. Н. Марьин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1999. – 832 с.
12. Технологическое обеспечение аэродинамических обводов современного самолета / Б. Н. Марьин, В. И. Меркулов, В. Ф. Кузьмин [и др.]. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 432 с.
13. Основы авиа- и ракетостроения : учеб. пособие для вузов / А. С. Чумадин, В. И. Ершов, К. А. Марков [и др.]. – М. : Инфра-М, 2008. – 992 с.
14. Современные технологии авиастроения / коллектив авторов ; под ред. А. Г. Братухина, Ю. Л. Иванова. – М. : Машиностроение, 1999. – 532 с.

*Учебное издание*

**Гусева Роза Ивановна**

**ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ  
ПЛАНЕРА САМОЛЕТА**

Учебное пособие

Научный редактор – кандидат технических наук, доцент А. В. Вялов

Редактор Е. О. Колесникова

Подписано в печать 06.09.2013.

Формат 60 × 84 1/16. Бумага писчая. Ризограф FR 3950 EP-α.

Усл. печ. л. 8,12. Уч.-изд. л. 7,80. Тираж 100 экз. Заказ 25744.

Редакционно-издательский отдел  
Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»  
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Полиграфическая лаборатория  
Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»  
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.