

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ Ульяновский государственный
технический университет**

ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ САМОЛЕТОВ

**Методические указания по проведению практических
занятий**

Часть 3

**Составители: И.М.Колганов
П.Б.Томов**

УДК 621.757/076

Технология сборки самолетов: Методические указания по проведению практических занятий. Часть 3 / Сост. И.М.Колганов, П.Б.Томов. - Ульяновск: УлГТУ, 1999. - 55 с.

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Технология сборки самолетов», утвержденной 02.03.98 г. и согласованной с АО «Авиастар». Предусматривают проведение двух практических занятий на завершающем этапе обучения студентов по учебному плану подготовки инженеров-технологов по специальности 13.01 «Самолето- и вертолетостроение», предназначены для практического руководства при проведении занятия преподавателями, развития навыков и умений студентов всех форм обучения в области технологии производства самолетов.

В указаниях приводятся примеры расчетов. МУ рекомендуются также для использования при курсовом и дипломном проектировании.

Ил. 16. Библиогр.: 11 назв.

Рецензенты:

главный технолог АО «Авиастар»

Л.В.Воронов,

зав. кафедрой

«Самолетостроение»

С.А.Кобелев

Одобрены секцией
методических пособий
научно-методического
совета университета

(С / Ульяновский государственный технический университет, 1999

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| 1 .ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ .. | 4 |
| 2.ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ № 5. ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБОРОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, ЕГО РАСЧЕТ НА ЖЕСТКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ.....^ | 5 |
| 2.1.Элементы сборочных приспособлений, их структура, основные требования к ним | 5 |
| 2.2.Анализ конструктивно-силовой схемы сборочных приспособлений. Пути расширения унификации и нормализации | 9 |
| 2.3.Разработка технических условий (технического задания) на проектирование сборочного приспособления | 12 |
| 2.4.Этапы и порядок проектирования технологического оснащения процессов сборки..... | 14 |
| 2.5.Нагружение и деформации элементов сборочных приспособлений | 17 |
| 2.6.Расчет элементов сборочного приспособления на жесткость | 29 |
| 2.7. Расчет элементов сборочного приспособления на прочность | 37 |
| 2.8.Подготовка описания спроектированного технологического оснащения и его обоснование | 39 |
| 3.ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ № 6. РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ СБОРКИ УЗЛА (АГРЕГАТА) | 39 |
| 3.1 .Основные понятия и формулы расчета | 39 |
| 3.2.Производственные погрешности | 43 |
| 3.3.Влияние метода базирования на точность сборки | 45 |
| 3 ^.Последовательность выполнения расчета ожидаемой точности сборки | 48 |
| 3.3.Примеры расчета точности сборки | 51 |

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

.....55

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Переход на новый учебный план инженерной подготовки по специальности 13.01.00 «Самолето- и вертолетостроение» со специализацией 13.01.03 «Технология производства самолетов», утвержденный в мае 1997 г., выделение из курса «Технология сборки самолетов» новой дисциплины «Технологическое обеспечение сборочных производств» внес коррективы в рабочую программу и содержание ряда лабораторных работ и практических занятий.

Рабочей программой по дисциплине «Технология сборки самолетов», утвержденной 19.09.97 г., предполагается проведение семи практических занятий общим объемом 20 часов, хотя учебный план предусматривает их проведение объемом лишь 16 часов, а в последующем его корректировании - 14 часов. В рабочей программе появились практические занятия «Обеспечение взаимозаменяемости при сборке. Разработка схемы увязки заготовительной и сборочной оснастки» 4 часа. Поскольку все практические занятия ставят цель оказать помощь студентам в разработке курсового проекта по «Технологии сборки самолетов», то это новшество вполне оправдано, ибо студенты встречают немало трудностей, занимаясь проработкой схем увязки заготовительной и сборочной оснастки не только в курсовом, но и дипломном проекте.

Решив вопросы методического обеспечения по всем практическим занятиям, а значит и курсового проекта, преподаватели могут изъять из программы практические занятия № 2 «Содержание, объем и порядок выполнения курсового проекта. Нормативно-техническая документация и ее использование» (2 ч) [1] и уменьшить количество часов по другим занятиям, сократив их общий объем до 16 часов (14 часов).

Данные методические указания (МУ) являются завершающими (3 часть) в методическом обеспечении курсового проектирования, а после апробирования МУ по новым практическим занятиям будут изданы отдельной брошюрой (учебным пособием).

Используемое в настоящее время учебное пособие КуАИ [2] по курсовому проектированию является устаревшим, по ряду вопросов курсового проекта не дает достаточно обоснованных рекомендаций. После издания настоящих МУ студенты авиационного филиала смогут как на практических занятиях, так и при курсовом проектировании пользоваться учебной методической литературой, подготовленной на базе объектов сборки предприятия АО «Авиастар», для которого авиационный филиал готовит специалистов.

Методические указания включают два практических занятия, рассчитанных на 5 часов аудиторных занятий, дополняют ранее изданные [1,3]. Выполнить, например, за 3 часа работу по проектированию сборочного приспособления (СП), его расчету на жесткость и прочность невозможно даже при машинной обработке, а поэтому на занятии студенты с помощью преподавателя, используя уже под-

готовленную до этого технологическую часть курсового проекта, основывают методику проектирования СП и ведут эскизную проработку, согласовывают с преподавателем выбор схемы приспособления и делают начальные проектировочные расчеты на жесткость и прочность.

Чтобы МУ могли использоваться для самостоятельной работы студентов, в них включен и лекционный материал, который преподаватель может впоследствии сократить на лекционных занятиях.

Методические указания могут использоваться студентами и при дипломном проектировании.

2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ № 5. ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБОРОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, ЕГО РАСЧЕТ НА ЖЕСТКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ

2.1. Элементы сборочных приспособлений, их структура, основные требования к ним

2.1.1. Назначение и классификация сборочных приспособлений

Сборочные приспособления (СП) - устройства, обеспечивающие необходимое расположение, фиксацию и соединение сборочных единиц и входящих в них деталей с заданной точностью и требующейся жесткостью собираемой конструкции. Сборочные приспособления, используемые для сборки узлов и агрегатов летательных аппаратов (ЛА), принципиально отличаются от СП общего машиностроения, обеспечивающих удобство расположения деталей относительно друг друга, противодействие усилиям резания с целью сохранения сборочного положения [4].

Применяемые для сборки ЛА СП представляют сложную пространственную конструкцию высокой жесткости — основное технологическое оснащение (ТО) сборочных работ. Повышение требований к точности сборки, необходимости повышения производительности с ростом габаритов и тоннажа машин привели к усложнению СП, превращению их в сложные инженерные сооружения, особенно на агрегатной и общей (окончательной) сборке, что определило их конструктивные особенности и классификацию.

Сборочные приспособления принято классифицировать по двум основным признакам :

технологическому - в зависимости от назначения СП, вида выполняемых соединений и операций, вида сборочной единицы;

конструктивному - в зависимости от конструктивно-силовой схемы и других конструктивных особенностей : стационарных, неразъемных, поворотных и т.д.

С точки зрения универсальности все СП можно разделить на три категории:

1 .Универсальные (УСП), выделяемые иногда в тип сборно-разборных [4]. Для сборки самолетных конструкций почти не удается использовать;

2. Специальные - для сборки конкретной сборочной единицы: гермокабины, отсека фюзеляжа, лонжерона, окончательной сборки узла или агрегата;

3. Специализированные (групповые) - для сборки однотипных по конструктивно-технологическим признакам сборочных единиц; состоят почти полностью из стандартизованных и нормализованных элементов. Такие СП широко используются для сборки шпангоутов, нервюр и т.п.

По назначению, в зависимости от выполняемых сборочных работ, различают :

1. Приспособления для узловой сборки, в которых производят сборку, например, лонжеронов, нервюр, панелей, рулевых поверхностей, средств механизации и т.д.

2. Приспособления для агрегатной сборки - стапели для сборки крыла, фюзеляжа, оперения и т.п., их отсеков и секций.

Как первая, так и вторая группы СП могут быть:

1. Операционными - ведется, например, комплектация узла или агрегата, установка входящих деталей и их соединение средствами крепежа, сверление, герметизация, испытания и т.п. Находят применение и целесообразны при серийном и крупносерийном производстве;

2. Универсальными - ведется сборка объекта (лонжерона, киля, отсека фюзеляжа и т.п.) от начала до конца. Широко используются при мелкосерийном производстве.

По признаку узкоцелевого назначения [5], что определяют технические условия (ТУ) на проектирование СП, выделяют :

1. Собственно сборочные приспособления;

а) для сборки-клепки, выполнения болтовых соединений;

б) для сборки-склейки;

в) для сборки-сварки.

2. Разделочно-стыковочные стапели (стенды).

3. Специализированные:

а) для отстыковки и балансировки агрегатов;

б) для отработки кинематики навесных агрегатов;

в) нивелировочные стенды;

г) сборочно-монтажные (внестапельные рабочие места);

д) контрольные (контроль обводов) или контрольно-испытательные.

4. Транспортно-подъемные - средства подъема изделий; рамы крепления панелей на клепальном автомате; тележки для внестапельной сборки; стыковки; приспособления конвейерных линий и т.п.

По конструктивным и эксплуатационным признакам, использованию СП могут классифицироваться :

1. Сборно-разборные;

2. Неразъемные (сварные, клепаные);

3. Стационарные, передвижные (переносные);

4. Поворотные;

- 5.Операционные и многооперационные;
- 6.Комплектовочные;
- 7.Комбинированные.

Приведенная классификация говорит о многообразии вариантов СП в зависимости от решаемых ими технологических задач, что определяет их структуру и состав конструктивных элементов.

2.1.2. Структура и элементы сборочных приспособлений

По своей структуре, вне зависимости от рассмотренных классификационных групп, типовые СП состоят из пяти характерных групп элементов [2] :

1 .Несущие (каркасные) - силовая часть СП, гарантирующая жесткость конструкции и неизменность положения сборочных баз. Несущие элементы (НЭ) или несущая система приспособлений (НСП) включают (рис.1):

- а) каркасы и их элементы - колонны, стойки, балки и т.д.;
- б) фундаментные плиты, основания, кронштейны соединительные и опорные и т.п.

2.Фиксирующие (базовые) элементы (БЭ) или базовая система приспособлений (БСП) определяют положение собираемых элементов конструкции и их расположение относительно конструктивных осей изделия. В эту группу входят ложементы и рубильники, определяющие, в основном, аэродинамические обводы объектов сборки; фиксаторы стыка, точек навески элементов механизации; упоры и т.п.

3.Установочные элементы (УЭ) - связующие звенья между фиксирующими и несущими элементами. В их состав входят стаканы, вилки или заливочные элементы (ЗЭ).

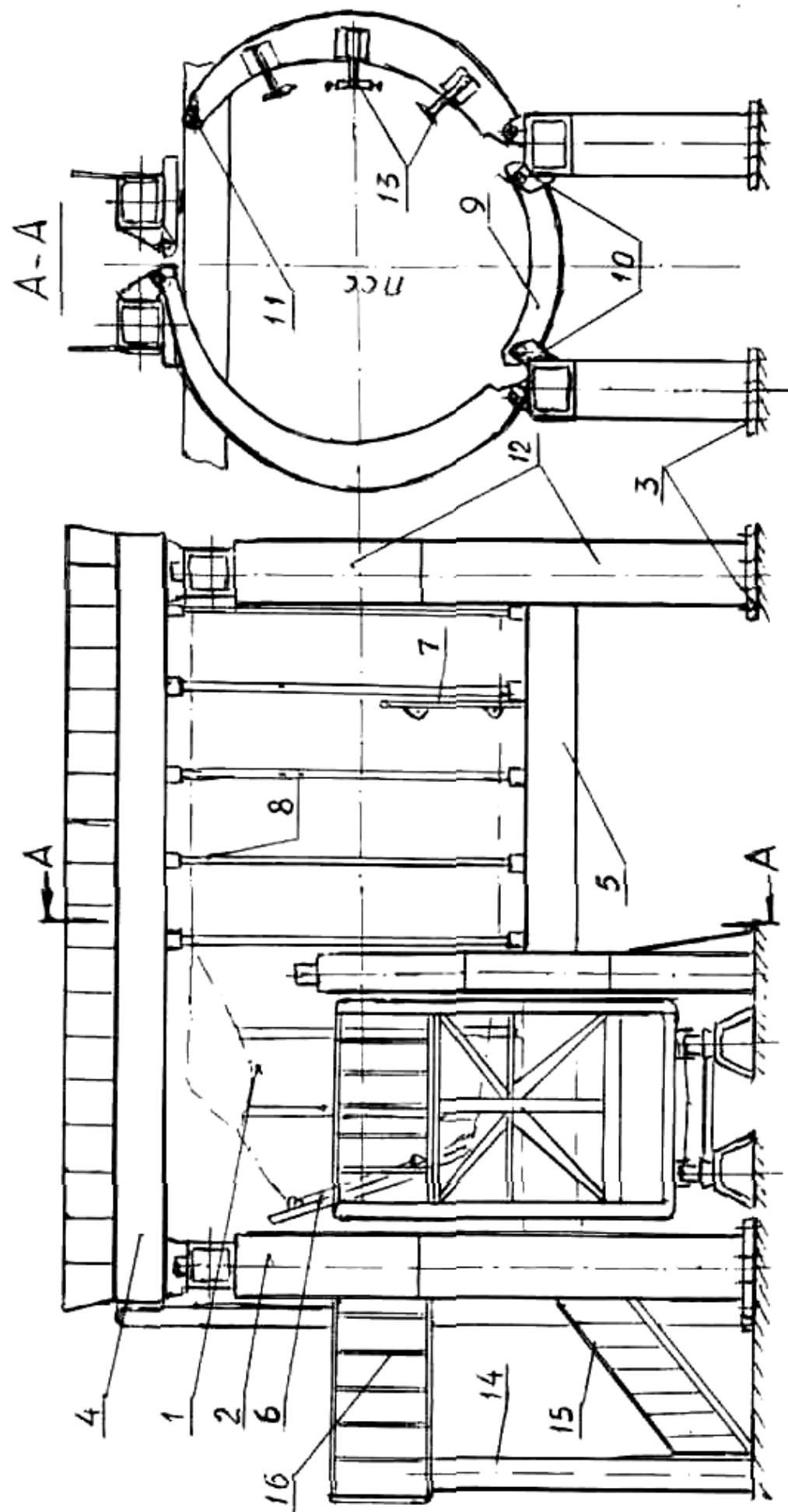
4.Зажимные элементы (ЗЭП) обеспечивают надежность фиксации устанавливаемых элементов конструкции в заданном чертежом положении.

5.Вспомогательные элементы (ВЭ) предназначены для создания нормальных условий работы на СП и повышения производительности труда. К ним относятся системы :

- а) обслуживания (рабочие площадки, лестницы, стремянки и т.п.);
- б) передвижения (транспортные тележки, колесные опоры, ленточные конвейеры и т.д.);
- в) механизации (привод подвижных частей приспособлений, спецустановки для сверления и клепки: СЗУ, пневмоскобы, СПА и др.);
- г) электроснабжения - электропривод, пневмо-гидромагистрали, по которым подается энергия;
- д) контроля правильности положения контура и разъемов - реперные, кондукторы КФО, эквидистантные шаблоны и т.п.;
- е) хранения - оргоснастка, стеллажи, спецплощадки и т.п.

Каркасы не имеют непосредственного контакта с собираемыми элементами сборочной единицы. Это дает возможность для расширения унификации и стандартизации. Они характеризуют конструктивную схему СП, которая определяется

Типовая схема сборочного приспособления



1 – объект сборки; 2 – колонна; 3 – основание; 4, 5 – верхняя и нижняя балки; 6 – плита стыка; 7 – плита-фиксатор; 8 – рубильники; 9 – установочные элементы (стаканы); 10 – заливочные элементы; 11 – рабочие элементы; 12 – блоки колонн каркаса; 13 – прижимы; 14 – стойка; 15 – лестница; 16 – рабочая площадка
Рис. 1.

составом элементов каркаса и их компоновкой. Конструктивные и компоновочные схемы СП, элементы их конструкции представлены на рис.2.

2.1.3. Технологические требования, предъявляемые к СП

Основными требованиями к СП, обеспечивающими их функциональное назначение являются :

- 1 .Обеспечение заданной точности сборки изделия в соответствии с ТУ, что определяет точность изготовления самого приспособления;
- 2.Постоянство заданных размеров и положения базовых поверхностей (сборочных баз) при изменении условий в течение всего периода эксплуатации;
- 3.Необходимая жесткость с целью сохранения точности в течение всего периода эксплуатации между регламентными осмотрами и ремонтами;
- 4.Удобное положение деталей , узлов при сборке с возможностью расширения механизации и автоматизации сборки и экономии производственных площадей;
- 5.Снижение металлоемкости при заданной жесткости и экономичность в изготовлении;
- 6.Минимальное количество подгонок, промеров, разметок и т.п. при точном выполнении технологии сборки;
- Т.Возможность и простота контроля размеров и форм, точности сборки;
- Е.Простота обеспечения потребными видами энергоснабжения;
- 9.Соблюдение требований безопасности работ при высокой их производительности.

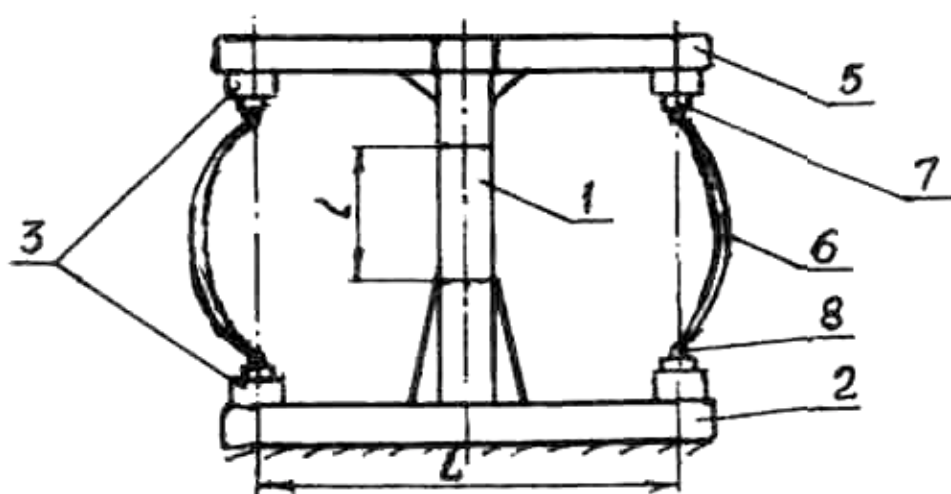
К конкретным СП, в зависимости от их назначения, предъявляется ряд специфических требований, определяемых особенностями собираемых изделий, что указывается в ТУ (ТЗ) на проектирование (по точности, методам базирования, степени нормализации и т.п.).

2.2.Анализ конструктивно - силовой схемы сборочных приспособлений. Пути расширения унификации и нормализации

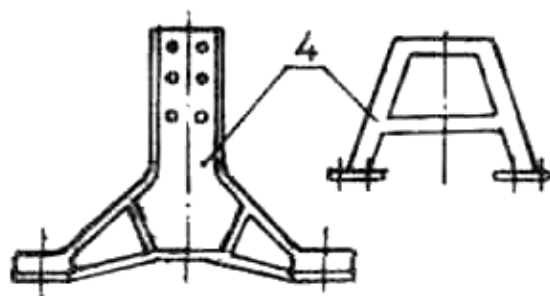
Выбрав конструктивную схему сборочного приспособления, студент проводит ее анализ с оценкой возможности применения стандартизированных, унифицированных и нормализованных элементов; оценивается металлоемкость конструкции в сравнении с существующими СП на АО «Авиастар».

Основой для такого анализа являются аналоги и прототипы сборочных приспособлений, используемых на АО «Авиастар», материалы по которым студенты подбирают во время прохождения производственных практик и при проведении лабораторных работ по технологии сборки самолетов.

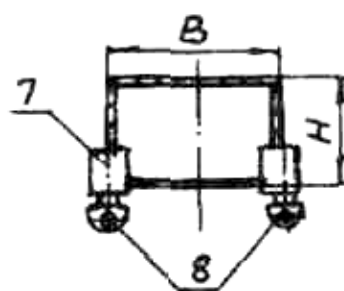
6. Эстакадного типа



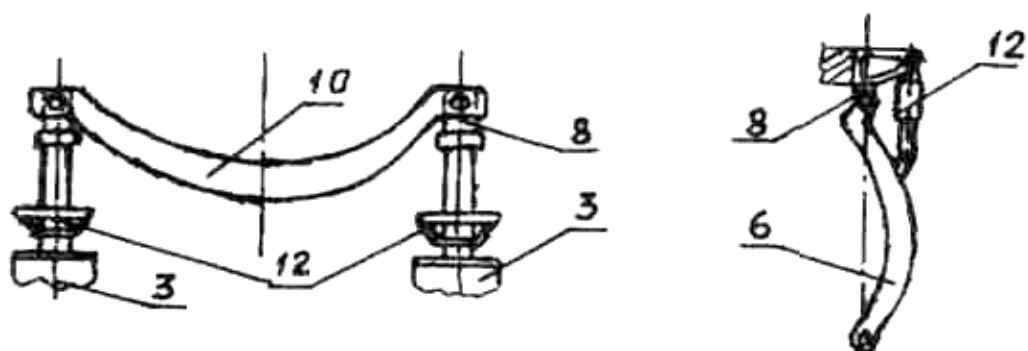
7. Стойки



8. Установочные элементы



9. Элементы подъема ложементов и рубильников



1-колонны; 2-основания; 3-балки; 4-стойки; 5-кронштейны; 6-рубильники; 7-стаканы; 8-заливочные элементы; 9-стапельные плиты; 10-ложементы; 11-механизм поворота; 12-механизм подъема ложементов и рубильников; 13-фундаменты

Рис.2

Поскольку МУ могут использоваться как при курсовом, так и при дипломном проектировании, анализ конструктивно-силовой схемы рассматривается применительно к СП и узловой, и агрегатной сборки. При этом оцениваются :

- назначение СП согласно классификации (операционные, общей сборки, комплектовочные и т.п.);

- конструктивные особенности каркаса (портальной, консольной схемы, стационарные или перемещаемые и т.д.), т.е. определяется тип СП по его конструктивной схеме;

- состав колонн, стоек, балок, установочных и фиксирующих элементов, степень их унификации и нормализации, т.е. возможности использования в других аналогичных СП;

- параметры сечений элементов каркаса, используемых на АО «Авиастар» аналогичных СП, их рациональность с позиций оптимальности по металлоемкости, жесткостным характеристикам, видам крепления между собой;

- виды целесообразных прижимов, их количество; метод базирования элементов конструкции объектов сборки, их влияние на обеспечение заданной точности сборки.

Проведенный анализ позволит более эффективно разработать технические условия (ТЗ) на проектирование СП и точнее определить расчетную схему; установить оптимальные конструктивные параметры приспособления, каковые не будут определяться расчетом.

Студент на базе такого анализа имеет возможность решить вопрос повышения степени унификации и нормализации СП, доведя этот параметр до возможного показателя $K_{с.н.} = 0,85 \dots 0,9$, что характерно для оптимальных конструкций экономически выгодных приспособлений авиационной отрасли.

2.3.Разработка технических условий (технического задания) на проектирование сборочного приспособления

2.3.1.Исходные данные для проектирования СП

Для проектирования сборочного приспособления необходимы :

- чертежи объекта сборки и входящих подборок (узлов);

- технические требования (ТУ) на сборку и поставку входящих деталей и узлов (карта поставки);

- схема сборки и другие директивные технологические материалы (ДТМ);

- схема базирования, конструктивно-силовая схема СП, директивный технологический процесс и пр.;

- технологический процесс сборки;

- программа выпуска изделий, N;

- техническое задание на проектирование;

альбомы чертежей унифицированных, стандартизированных элементов СП и типовых компоновок приспособлений в зависимости от назначения объекта сборки; средства, обеспечивающие механизацию процесса сборки, номенклатура применяемого инструмента и оборудования.

Без тщательного изучения чертежей и ДТМ невозможно спроектировать сборочное приспособление оптимальной конструкции. Следует указать на влияние программы выпуска конструктивные особенности СП. Если заданная программа соответствует мелкосерийному производству, то все операции сборки, как правило, ведутся в одном приспособлении. Увеличение N делает экономически целесообразным применение операционных приспособлений, что значительно упростит приспособления для общей сборки, особенно агрегата.

2.3.2.Порядок разработки технических условий (технического задания)

В условиях производства конструктор СП получает задание на проектирование от технолога, разработавшего технологический процесс, а в учебном проекте студент обязан выполнить данную работу в самом начале курсового проектирования самостоятельно, согласовывая с руководителем проекта.

Технические условия (ТУ) устанавливают, в основном, выходные параметры проектируемых средств оснащения процессов сборки: наличие и положение сборочных баз, положение объекта сборки в пространстве, степень заданной точности, металлоемкость, степень унификации и нормализации, условия подходов при сборке, требования по соосности отверстий, термообработке и покрытиям и т.д. [6].

При проектировании СП для сборки узлов и мелких агрегатов обычно ограничиваются ТУ. При проектировании ступеней, стендов, средств механизации и автоматизации *разрабатывают техническое задание (ТЗ)*, которое определяет более широкий объем предъявляемых к проектируемому оснащению требований.

Если назначение приспособления студенту определяет задание на курсовой проект, то другие условия ТЗ он обязан конкретизировать и обосновать, используя материалы лекций, лабораторных работ и опыт базового предприятия, с чем он знакомится в период производственной практики.

Исходя из конструктивно-технологических особенностей объекта сборки и назначения приспособления, студент в период практического занятия устанавливает следующие пункты ТЗ и согласовывает их с преподавателем:

- основные сборочные базы, которые должны быть использованы при сборке;
- положение собираемого узла (агрегата) в СП, указания, какие детали должны фиксироваться при сборке;
- заданная степень точности сборки по аэродинамическому контуру и стыковым разъемам;

способы закладки узлов и их базирование в СП, необходимость перемещения и способы выемки из приспособления;

необходимость механизации и автоматизации работ в СП, что возможно встроить в приспособление (сверильные головки типа СПА , клепальные скобы и т.п.);

способы контроля точности изготовления узлов, приспособления и его монтажа на участке сборки (применение шаблонов, макетов, эталонов, оптических и лазерных средств и т.д.);

требования к оргоснастке СП (рабочим площадкам, трапам, лестницам, подводам средств освещения и энергоснабжения);

специальные требования (по технике безопасности, температурному режиму, влажности, условиям монтажа и т.п.).

Уточнение ТУ (ТЗ) студент производит в ходе проектирования СП на консультациях с руководителем проекта. Тщательно проработанные ТУ (ТЗ) сократят сроки и трудоемкость проектирования.

2.4.Этапы и порядок проектирования технологического оснащения процессов сборки

В зависимости от задания и объекта сборки студенту может быть предложено проектирование любого из перечисленных в п.2,1 средств технологического оснащения (ТО) сборочных процессов. В курсовом проекте обычно разрабатываются приспособления для узловой сборки, режущие станки общей сборки агрегата, стенды из группы контрольно-испытательного оборудования (КИО), средства механизации и автоматизации и спецоснастка для выполнения наиболее ответственных и сложных в технологическом отношении операций.

Этапы учебного проектирования не отличаются от тех, что приходится конструктору выполнять в условиях производства. Система ЕСКД предусматривает этапы проектирования : 1 .Разработка эскизного проекта (ЭП); 2.Выполнение технического проекта (ТП); 3.Детализирование рабочих чертежей.

Эскизный проект предусматривает решение принципиальных вопросов и их согласование. Именно ЭП составляет основную часть курсового проекта. При этом работа проводится в следующей последовательности :

изучение и анализ исходных данных, выданных в задании на курсовой проект и данных аналога СП;

проработка и выбор схемы базирования и состава базовых элементов;

решение вопросов увязки всей технологической оснастки по контуру и разъемам;

выбор системы координат СП и оптимального положения объекта сборки
в

пространстве;

расчет точностных параметров при выбранных способах базирования и схеме увязки;
выбор и разработка конструктивной схемы приспособления;
расчет элементов конструкции на жесткость и прочность, исходя из расчетной схемы.

Безусловно, в процессе практического занятия невозможно провести анализ исходных данных, расчет точностных параметров сборки (объем другого практического занятия) и прочностные расчеты. Одни из них следует выполнить до, а другие - после практического занятия. Другие же вопросы ЭП студент обязан на практических занятиях проработать и согласовать с преподавателем (руководителем проекта). В пояснительной записке курсового проекта (ПЗ) весь ход эскизного проектирования должен быть отражен.

Технический проект — детальная проработка всех узлов и элементов СП. Использование унифицированных, стандартизированных и нормализованных элементов конструкции значительно сокращает трудоемкость проектирования, а потому в этом плане требуется скрупулезная работа. Для оригинальных деталей и узлов ведется их вычерчивание со всеми необходимыми видами, разрезами и сечениями.

При конструировании СП средних и малых размеров эскизное и техническое проектирование совмещают с разработкой чертежей общих видов, что делается и на производстве, и в учебном проекте.

Собственно проектирование студент начинает с разработки конструктивной схемы СП (ТО). Выбрав базовые оси, относительно которых координируется расположение всех узлов приспособления, соответствующий масштаб, вычерчивают контур объекта сборки. В качестве базовых принимают конструктивные оси построения изделий : ось симметрии, строительная горизонталь, плоскость хорд крыла и т.п., соблюдая три основных принципа базирования : единства, постоянства и совпадения баз.

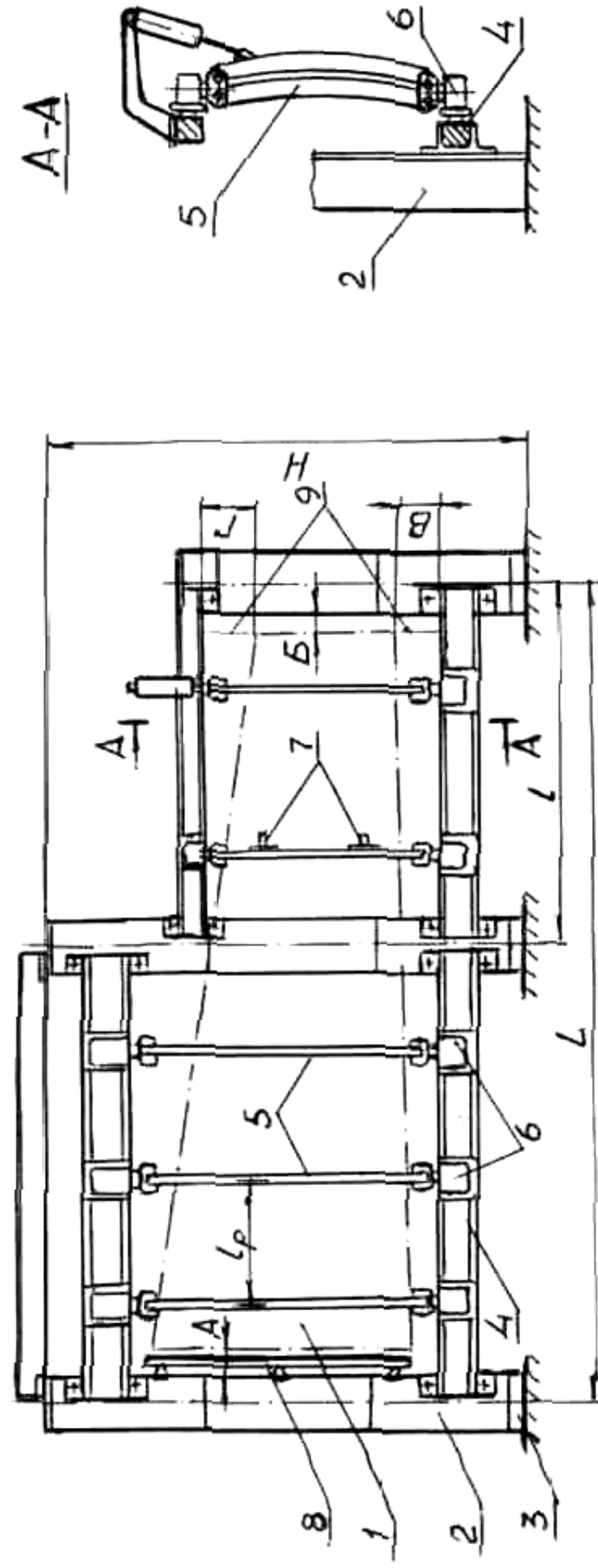
Принцип постоянства баз - соблюдение общности базовых осей для всех видов СП, относящихся к данному объекту сборки;

единства - общие базовые оси СП и изделия; совпадения баз - единство баз при изготовлении деталей и сборке из них узлов. Вокруг контура объекта сборки 1 выстраивают в сетке $n \times 50$ ($n \times 100$) элементы конструкции СП (рис.3), согласно выбранной при эскизном проектировании конструктивной схеме, максимально используя унифицированные и стандартизированные колонны 2, основания 3, балки 4 и т.д.

На выполняемом чертеже размещают положение фиксаторов 5 (их оси), количество которых определяют ИЗ УСЛОВИЙ ТОЧНОСТИ Сборки, ЭСКИЗНО ИХ Прорабатывают совместно с установочными элементами 6, используя опыт проектирования приспособления - аналога,

В первую очередь прорабатывают контурные (обводообразующие) фиксаторы. Их обычно устанавливают по осям силовых элементов каркаса объекта сборки, но для обеспечения доступа при подготовке отверстий, клепке и т.д. про-

Схема и параметры сборочного приспособления, принимаемые при проектировании



1 – объект сборки; 2 – колонны; 3 – основания; 4 – балки; 5 – формообразующие фиксаторы (рубильники); 6 – установочные элементы; 7 – зажимные устройства; 8 – стальная плита; 9 – А, Б, В, Г – расстояние между объектом сборки и НСП

Рис.3

изводят смещение на 150-200 мм. Одновременно прорабатывается количество и конструкция зажимных устройств 7.

После выбора и размещения фиксирующих и зажимных устройств можно приступить к выполнению технического проекта. На практическом занятии у студентов есть возможность прорабатывать конструктивную схему СП и согласовать ее с преподавателем. Доработка конструктивной схемы СП - основная часть технического проекта при курсовом проектировании. При этом в принятой координатной сетке определяют положение элементов СП, обеспечивая расстояния А, Б, В, Г. Их задают исходя из следующих положений :

1 .Возможности доступа к местам установки, фиксации деталей, подготовки отверстий, постановки крепежа и выполнения соединений.

2.Возможности установки деталей и сборочных единиц, выемки собранного объекта сборки из СП (особенно важно при сборке агрегатов).

3.Учета габаритов установочных и заливочных элементов.

Доработка конструктивной схемы заканчивается вычерчиванием элементов НСП в сечениях, разрезах, видах и т.д., конструктивные размеры которых определяются из условий прочностных расчетов.

2.5.Нагружение и деформации элементов сборочных приспособлений

2.5.1.Действующие нагрузки и допущения при расчетах

При прочностных расчетах требуется определить жесткость элементов конструкции, гарантирующую их деформации не выше допустимых, и прочность элементов крепления несущей системы приспособлений. Таким образом, расчету подлежат каркасы СП.

С точки зрения строительной механики каркасы СП являются пространственными, многократно статически неопределимыми системами, распределение усилий в которых зависит как от внешних нагрузок, так и от жесткости составляющих элементов.

Расчет каркасов ведется по статическим нагрузкам. Возникающие динамические нагрузки от ударного инструмента при клепке ни по величине, ни по характеру воздействия не могут оказать существенного влияния на жесткость конструкции и ими обычно пренебрегают.

В общем случае на элементы конструкции СП могут действовать следующие нагрузки, вызывающие деформации :

1.Собственная масса балок с установочными и заливочными элементами, M_6 ;

2.Масса стапельных плит, ложементов и других элементов, которые в процессе эксплуатации СП не снимаются, M_m ;

3.Масса колонн, кронштейнов, поперечных балок и других несъемных элементов, входящих в конструкцию каркаса СП, M_k ;

4.Масса деталей и узлов, которые снимаются при эксплуатации СП, $M_{ск}$;

5.Масса собираемого изделия (объекта сборки), $M_{ос}$;

6.Масса людей, работающих в собираемом агрегате или находящихся на балках СП, M_p ;

7-Усилия распора и прижима элементов собираемого изделия к элементам стапеля, P_p ;

8.Масса вспомогательной оснастки, опирающейся на элементы каркаса СП (помосты, лестницы, подвесной инструмент, привод подвижных элементов СП и т.д.), $M_{во}$.

Действующую нагрузку принято делить на постоянную $P_{пст}$, в которую входят первые три выше указанных, и переменную $P_{пр}$, включающую все остальные возможные виды нагружения. Основной расчетной нагрузкой является $P_{пр}$.

Собственная масса балок M_b может не учитываться, так как при их монтаже в инструментальном стенде (ИС) балки находятся в рабочем состоянии и опоры их расположены в тех же местах, на которые балки опираются в приспособлении. Прогиб балок учитывает сам монтаж.

Прочность стоек колонн, кронштейнов с колоннами проверяют по сумме нагрузок $P_{\Sigma} = P_{пст} + P_{пр}$. Значит, действующие нагрузки следует рассматривать конкретно, согласно принятой расчетной схеме. Важно правильно распределить расчетную нагрузку.

В процессе расчета на жесткость при курсовом проектировании обычно идут двумя путями :

1.По заданным допустимым деформациям определяют необходимые сечения элементов каркаса;

2.При выбранных ранее на базе аналогов сечений элементов конструкции каркаса СП проверяют, не выходят ли прогибы этих элементов за пределы допустимых.

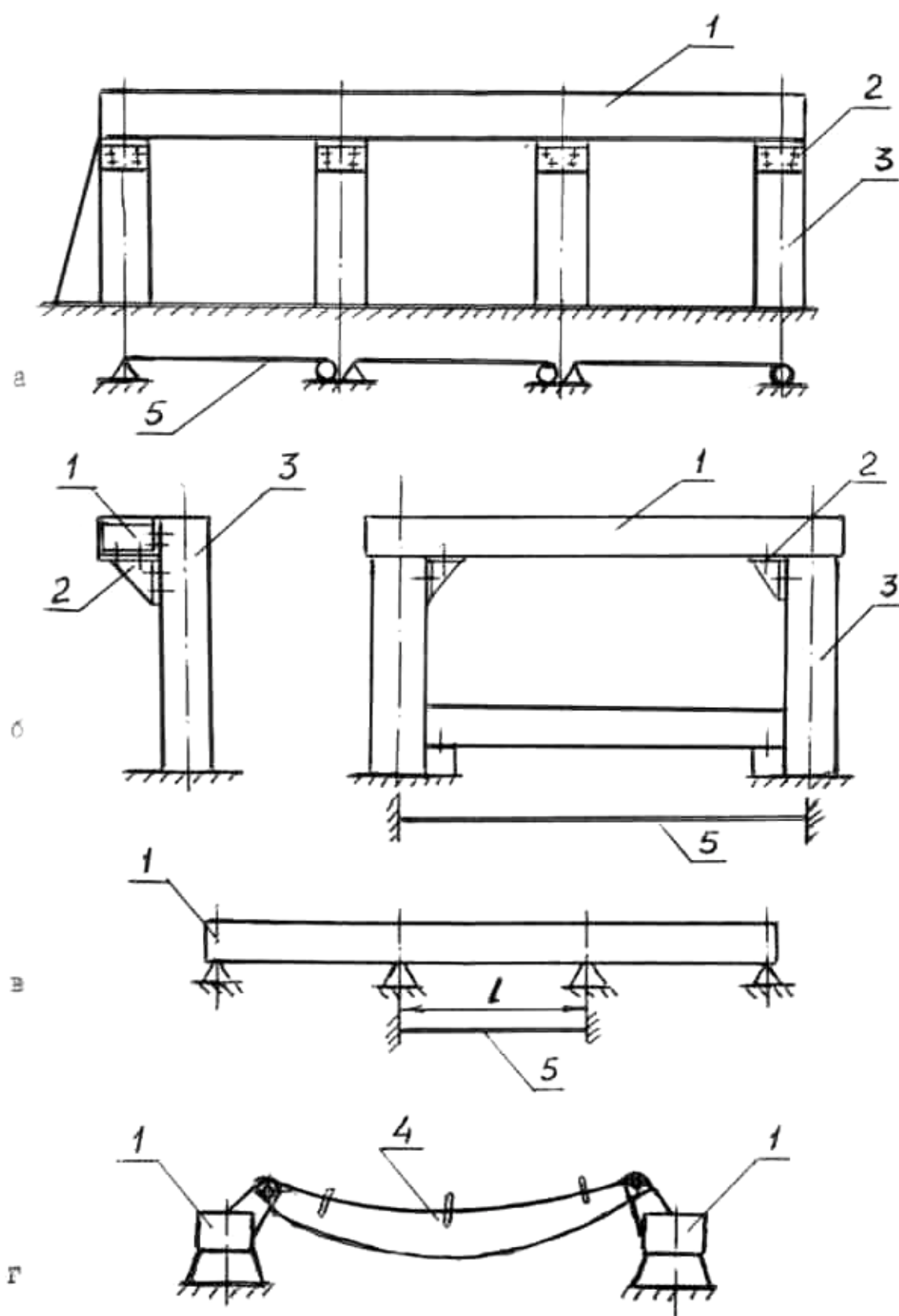
В обоих случаях приходится при строгом соблюдении расчета реальных конструкций раскрывать их статическую неопределимость той или иной степени, что не всегда в курсовом проекте оказывается возможным. Затрудняет расчеты и неопределенность характера заделки концов балок, так как их в реальных конструкциях нельзя отнести ни к классическим шарнирам, ни к условиям жесткой заделки [8].

В целях облегчения практических расчетов используются упрощенные расчетные схемы с внедрением ряда допущений, приводящих к некоторому дополнительному запасу жесткости. При этом весь каркас СП расчленяют на простейшие элементы : балки, рамы, кронштейны и др., для которых можно использовать разработанные расчетные таблицы и графики [2]. Основные допущения сводятся к следующему:

1 Многопролетные неразрезные балки заменяют системой однопролетных на двух шарнирных опорах (рис.4,а);

2.При всех вариантах конструкции опор двухопорных балок они принимаются шарнирными;

Расчетные схемы сборочных приспособлений
с учетом принятых допущений



1 – балки; 2 – кронштейны; 3 – колонны; 4 – ложемент; 5 – расчетная схема

Рис.4.

3. Концы балок считают защемленными, если они закрепляются сверху на колонне или на нижней опоре, при креплении балок к боковой стороне колонны не менее, чем по двум плоскостям (к колонне и кронштейну) (рис.4,6);

4. Если неразрезная балка закреплена на нескольких промежуточных опорах по одной плоскости на каждой опоре, то заделка считается защемленной для соседних с этими опорами пролетов (рис.4,в);

5. В случае опирания балки на короткие нижние опоры (стойки, тумбы) или колонны, жесткость которых $EI_{оп}$ значительно превышает жесткость балки EI_b , деформациями опор пренебрегают. При соизмеримости $EI_{оп}$ и EI_b их рассчитывают совместно.

6. Если две балки связаны между собой несъемными ложементами (рис.4,г), то их считают работающими совместно.

7. Если расчетную нагрузку $P_{рас}$ трудно распределить между балками, то каждую рассчитывают по всей $P_{рас}$.

При проведении практических занятий студент уже должен иметь данные для определения расчетной нагрузки и при выбранной конструктивной схеме СП согласует с преподавателем распределение нагрузки по элементам конструкции, принятые допущения и расчетные схемы.

2.5.2. Допустимые деформации элементов сборочных приспособлений

Сборочные приспособления представляют собой как бы нормальные калибры для собираемых в них изделий. Но для калибров точность изготовления делают на порядок выше, чем изделия, которые ими проверяют, а сделать то же самое для СП практически невозможно из-за сложности формы и габаритов.

Производственный опыт показывает, что доля погрешности СП в суммарной погрешности собираемых изделий в зависимости от принятых средств увязки и методов базирования составляет 30 ... 50%. Учитывая допуски на обводы современных ЛА в зависимости от их назначения и функционального назначения объекта сборки в пределах $\delta_{ла} = 1,0 \dots 1,5$ мм [7], можно установить суммарную погрешность СП, равную

$$\delta_{сп} = (0,3 \dots 0,5) \cdot \delta_{ла}$$

$$\delta_{сп} = (1,0 \dots 1,5) \cdot (0,3 \dots 0,5) = 0,3 \dots 0,75 \text{ мм}$$

В расчетах точности суммарную погрешность СП представляют выражением:

$$\delta_{сп} = \delta_{фк} + \delta_{фр} + \delta_p \quad (2-1)$$

где $\delta_{фк}$ - погрешность, зависящая от деформации каркаса приспособления;
 $\delta_{фр}$ - погрешность, возникающая от деформации рубильников;

δ_p - суммарная погрешность изготовления обводообразующих фиксаторов (рубильников, ложементов).

Причем δ_p зависит от погрешностей изготовления обводообразующих фиксаторов $\delta_{p \text{ изг.}}$ и погрешности их установки в СП $\delta_{p \text{ уст.}}$. Обе приведенные погрешности величины случайные и независимы друг от друга, и величина δ_p может быть определена

$$\delta_p = \sqrt{\delta_{p \text{ изг.}}^2 + \delta_{p \text{ уст.}}^2} \quad (2.2)$$

Современное производство, как будет показано в методических указаниях по проведению последующих практических занятий, обеспечивает изготовление рабочих поверхностей рубильников (ложементов) с погрешностью $\pm 0,1 \text{ мм}$ и не выше $0,2 \text{ мм}$. Их установка в СП с использованием ИС производится с погрешностью, не превышающей $0,2-0,3 \text{ мм}$.

Тогда величина δ_p будет в пределах

$$\begin{aligned} \delta_p &\leq \sqrt{0,2^2 + 0,3^2} = \sqrt{0,13} = 0,36 \approx 0,4 \text{ мм}; \\ \delta_p &\leq 0,4 \text{ мм}, \end{aligned}$$

а допустимая погрешность от деформации элементов СП остается не более

$$\delta_{\text{фк}} + \delta_{\text{фр}} = \delta_{\text{пр}} - \delta_p = 0,75 - 0,4 = 0,35 \text{ мм}.$$

Погрешность от деформации определяется величиной смещения в данном направлении точки конструкции под влиянием деформации. Если f_k – смещение, вызванное деформацией каркаса, f_p – смещение, вызванное деформацией рубильников, то

$$(\delta_{\text{фк}} - \delta_{\text{фр}}) = f_k + f_p \quad (2.3)$$

Следует учесть, что смещение в заданном направлении, вызванное деформацией каркаса f_k , определяется смещением от деформации продольной балки f_1 , от деформации поперечной балки f_2 и от деформации колонн f_3

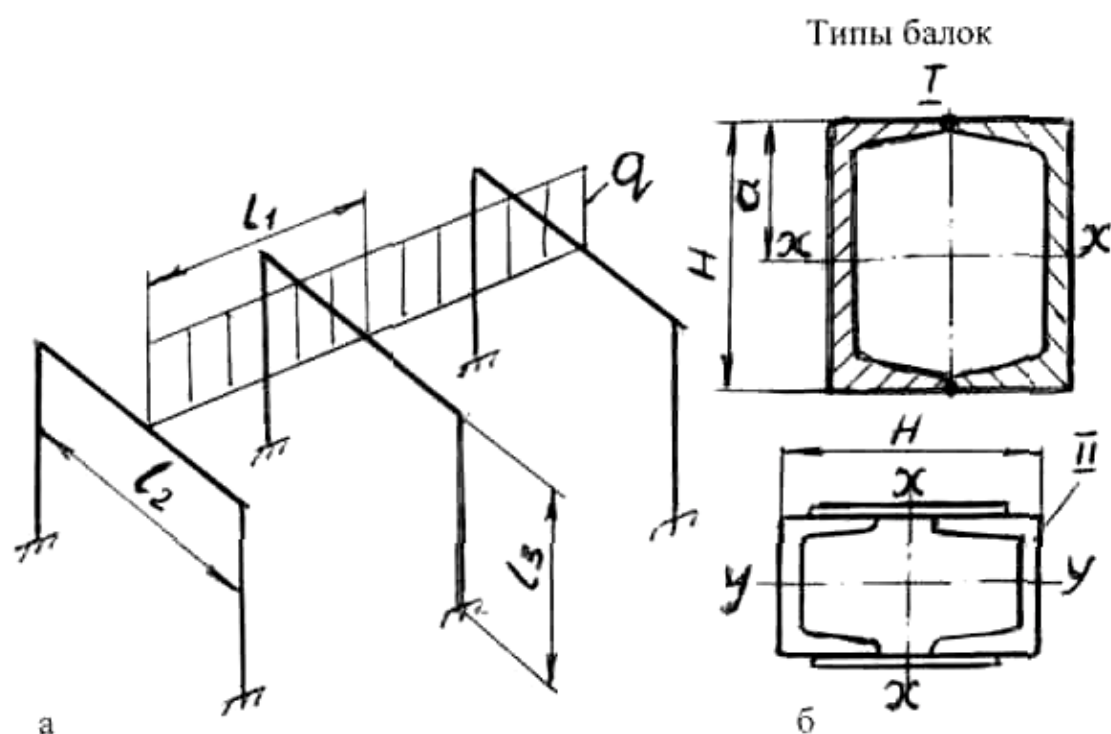
$$f_k = f_1 + f_2 + f_3 \quad (2.4)$$

Если рассмотреть типовую конструктивно-силовую схему сборочного приспособления (рис.5) и его нагружение в общем случае распределенной нагрузкой q при реальном соотношении размеров СП, то можно определить значения составляющих f_k и допустимые деформации элементов конструкции.

В большинстве СП размеры ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3 одного порядка и в первом приближении можно принять $\ell_1 \cong \ell_2 \cong \ell_3 = \ell$. Нагрузка на один пролет продольной балки будет $q\ell$, на поперечную балку также $q\ell$, а на колонну - $\frac{q\ell}{2}$. Прогибы продольных и поперечных балок при принятом соотношении размеров и одинаковых заделках концов можно принять $y_1 \cong y_2$.

Деформация сжатия колонн будет значительно меньше деформаций изгиба балок, которые примем соответственно $y_{\text{сж}}$ и $y_{\text{изг}}$. Их значения в пределах упругой деформации можно записать [9]:

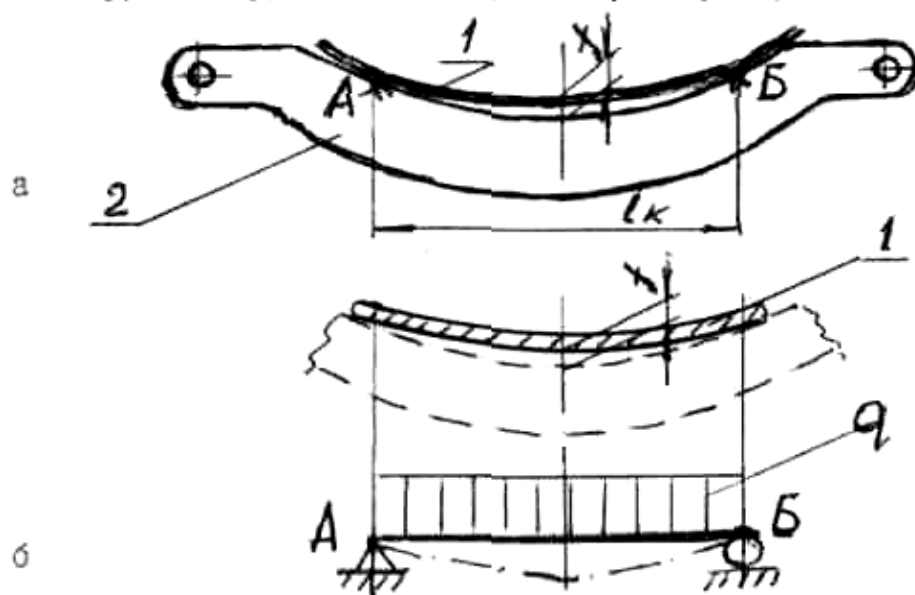
Типовая силовая схема сборочного приспособления



а – схема нагружения; б – сечение балки; l_1, l_2, l_3 – соответственно ширина пролета, длина поперечной балки, высота колонн; H – высота балки

Рис.5.

Нагружение рубильника от усилий распора и расчетная схема



а – прогиб f обшивки относительно поверхности рубильника;
б – расчетная схема; 1 – обшивка; 2 – рубильник; А, Б – точки касания поверхностей обшивки и рубильника

Рис.6.

$$y_{сж} = \frac{P_{сж} \cdot \ell}{EF}; \quad y_{из} = A \cdot \frac{P_{из} \cdot \ell^3}{EJ}, \quad (2.5)$$

где $P_{сж} = \frac{q\ell}{2}$, $P_{из} = q\ell$ - соответственно силы, сжимающая колонну СП и изгибающая продольную балку;
 F - площадь поперечного сечения колонны;
 J - момент инерции поперечного сечения балки;
 E - модуль упругости первого рода;
 A - коэффициент, зависящий от вида нагрузки и опор.

Соотношение рассматриваемых перемещений $\frac{y_{сж}}{y_{из}}$ определится с учетом (2.5):

$$\frac{y_{сж}}{y_{из}} = \frac{\frac{q\ell^2}{2EF}}{A \cdot \frac{q\ell^4}{EJ}} = \frac{J}{2A \cdot F \cdot \ell^2}. \quad (2.6)$$

Для рассматриваемых задач величина A (табл.1) не может быть меньше $A = \frac{5}{384}$ и, полагая сечения балки и колонны одинаковых размеров, выполненных сваркой из двух швеллеров (рис.5,б), можем установить предельную величину деформаций СП.

Из (2.6) очевидно, что $\frac{y_{сж}}{y_{из}}$ увеличивается с увеличением $\frac{J}{F}$ и уменьшением длины балки. Как правило, швеллеры для изготовления балок используются с $H \leq 300$ мм. Для такого профиля при $H=300$ мм имеем [9]

$$\frac{J_1}{F} = \frac{5810}{40,5} = 143,5.$$

При $\ell = 300$ см, что является обычно наименьшей длиной балки, получаем из (2.6)

$$y_{сж} = \frac{384}{5 \cdot 2} \cdot \frac{143,5}{300^2} \cdot y_{из} = 0,122 y_{из} \approx 0,12 y_{из}.$$

Значит, деформация сжатия колонны практически на порядок меньше, чем балки. Учитывая, что направление деформаций совпадает с направлением смещений (по вертикали), величины y и f будут аналогичными. Поэтому $f_2 = f_1$, а $f_3 = 0,12 f_1$.

Перемещение от деформации рубильников можно принять соизмеримым с деформацией продольной балки $f_p \approx f_1$.






Тогда полное смещение, вызванное деформацией (2.3)

$$f = f_k + f_p = f_1 + f_1 + 0,12 f_1 + f_1 = 3,12 f_1$$

$$\text{или } f_1 = \frac{f}{3,12} = \frac{0,35}{3,12} \approx 0,112 \approx 0,1 \text{ мм}.$$

Таблица 1

Значение коэффициентов (А), (к) и (к / А) в зависимости от вида нагружения и типа опор балок

| № № п/п | Вид нагрузки и тип опор | А | К | к/А |
|------------|---|---------------------------------------|-------------------------------------|-----|
| 1 |  | 1/3 | 1 | 3 |
| 2 |  | 1/8 (P = ql) | 1/2 (P = ql) | 4 |
| 3 |  | 1/48 | 1/4 | 12 |
| 4 |  | 5/384 (P = ql) | 1/8 (P = ql) | 9,6 |
| 5 |  | 0,01304 (x = 0,519) (P = ql/2) | 0,128 (x = 0,577) (P = ql/2) | 9,8 |

Таким образом, $f_l = (y_m)_{\max} = 0,1 \text{ мм}$. И чтобы обеспечить требуемую точность обводов ЛА, геометрические размеры (сечения, длина) продольных балок не должны допускать прогиб под нагрузкой $f = 0,1 \text{ мм}$, что и принимается во всех расчетах сборочных приспособлений на жесткость.

Обследование крутильных деформаций балок показало, что угол закручивания не превышает 15 град. Перевод в линейную деформацию дает перемещение порядка $0,01 \dots 0,02 \text{ мм}$ при радиусе $R = 300 \text{ мм}$. Поэтому при нагружении балок с небольшим эксцентриситетом, что соответствует их реальным условиям работы, кручение в расчете можно не учитывать.

2.5.3. Соотношение допустимых деформаций и напряжений

При расчете СП на жесткость, как правило, проверочные расчеты не ведутся. Это допустимо при определенных соотношениях напряжений и деформаций. Из (2.5) максимальный прогиб балок при поперечном изгибе силой P

$$y_{\max} = A \cdot \frac{P \ell^3}{EJ}, \text{ а максимальные напряжения в их сечении } \sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W}.$$

Для балок с различным видом нагружения и опор M_{\max} можно представить в виде $M_{\max} = k \cdot P \cdot \ell$, а момент сопротивления – в виде $W = \frac{J}{a}$, тогда

$$\sigma_{\max} = k \frac{P \cdot \ell \cdot a}{J}, \quad (2.7)$$

В приведенных формулах :

A, k – коэффициенты, зависящие от вида нагрузки и опор балок (приводятся в табл.1);

ℓ – длина балки;

E – модуль упругости первого рода;

J – момент инерции сечения;

a – расстояние от нейтральной оси до наиболее удаленного контура сечения.

Чтобы определить длину балки ℓ , у которой при допустимом прогибе $y_{\text{доп}}$ напряжение не превышает допустимых значений $\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{доп}}$, запишем соотношение

$$\frac{y_{\max}}{\sigma_{\max}} = \frac{A \ell^2}{k \cdot E \cdot a}. \quad (2.8a)$$

Для принятых условий выражение (2.8a) примет вид

$$\frac{y_{\text{доп}}}{\sigma_{\text{доп}}} = \frac{A \cdot \ell^2}{\kappa \cdot E \cdot a}, \quad (2.8b)$$

$$\text{откуда } \ell^2 = \left(\frac{\kappa}{A} \right) \left(\frac{y_{\text{доп}}}{\sigma_{\text{доп}}} \cdot E \right) \cdot a; \quad \ell = \sqrt{\left(\frac{\kappa}{A} \right) \cdot \frac{y_{\text{доп}}}{\sigma_{\text{доп}}} \cdot E \cdot a}. \quad (2.8)$$

Так как величина прогиба пропорциональна длине балки в 3-й степени, а напряжение – в 1-й степени, то при ℓ , меньшей, чем вычислена по формуле (2.8)

(при том же допустимом прогибе), напряжение в балке окажется больше допустимого. Значит, чтобы « σ » не превысили $\sigma_{\text{доп}}$, должно соблюдаться условие

$$\ell \geq \sqrt{\left(\frac{\kappa}{A}\right) \cdot \frac{y_{\text{доп}}}{\sigma_{\text{доп}}} \cdot E \cdot a}. \quad (2.9)$$

При выполнении условия (2.9) расчет балок можно вести только на жесткость. Можно установить значение ℓ_{min} для расчета НСП в условиях $y_{\text{доп}} = 0,1 \text{ мм}$, что принято для всех расчетов на жесткость, и стали 3, из которой обычно изготавливают каркасы приспособлений. Тогда $\sigma_{\text{доп}} = 120 \text{ МПа}$, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ (МПа).

Чем больше $\left(\frac{\kappa}{A}\right)$, тем большее значение ℓ_{min} при заданных $y_{\text{доп}}$, $\sigma_{\text{доп}}$ будем иметь. Из табл.1 $\frac{\kappa}{A} = 12$ – наибольшая величина и из формулы (2.9) получим

$$\ell \geq 14,1\sqrt{a}. \quad (2.10)$$

Для других случаев нагружения, когда $\left(\frac{\kappa}{A}\right) < 12$ при тех же параметрах и длине, напряжения будут меньше допустимых. Практически балки СП имеют высоту H от 100 до 400 мм. Для таких балок ℓ_{min} получим в пределах:

1. $\ell_{\text{min}} = 14,1\sqrt{50} = 316 \text{ мм} \left(H = 100 \text{ мм}, a = \frac{H}{2} = 50 \text{ мм} \right),$
2. $\ell_{\text{min}} = 14,1\sqrt{200} = 630 \text{ мм} \left(H = 400 \text{ мм}, a = \frac{H}{2} = 200 \text{ мм} \right).$

Учитывая, что балки СП всегда имеют большую длину, чем полученные значения ℓ_{min} , их можно рассчитывать только на прогиб, без расчета прочности.

2.5.4. Распределение нагрузки по элементам приспособления

Основными расчетными деформациями СП являются деформации от вертикальных нагрузок в вертикальной плоскости. Возможные горизонтальные нагрузки и создаваемые ими горизонтальные деформации обычно не учитывают. Исключение могут составлять нагрузки от распора обшивок, в связи с трудностями обеспечения их поверхности соответственно аэродинамическому контуру и необходимости прижима к рабочим поверхностям обводообразующих фиксаторов, как показано на рис.6.

Отклонение обшивок от рабочего контура рубильника обычно $f = 1,0 \dots 2,0 \text{ мм}$, а ℓ_{κ} находится в пределах от 400 до 1000 мм. Для представленной схемы прогиб f определяется формулой $f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot \ell^4}{EJ}$, откуда интенсивность распределенной нагрузки (q) запишется $q = \frac{384 \cdot E \cdot J \cdot f}{5 \cdot \ell^4}$.

Возникающее при этом добавочное внутреннее напряжение $\Delta\sigma$ мало, и им пренебрегают. Лишь в случае монолитных обшивок, особенно вафельной конст-

рукции, усилия прижима требуются значительной величины, и $\Delta\sigma$ следует учитывать.

Распределение вертикальных нагрузок по несущим элементам СП должно отражать реальное приложение сил, что делает расчет поперечного изгиба балки громоздким. Для упрощения расчетов сосредоточенные силы от рубильников и ложементов заменяют распределенной нагрузкой с интенсивностью (q) постоянной или переменной величины в зависимости от конструктивной схемы СП (рис.7). Так при сборке панелей крыла, оперения, хвостовой части фюзеляжа верхняя балка СП (стапеля) наклонна, масса рубильников (ложементов) с элементами ЗЭП M_p изменяется пропорционально их длине (в первом приближении).

Нагружение балок принимают соответственно рис. 7,а, то есть по трапециевидному закону, а интенсивность распределенной нагрузки подсчитывают как показано на рис. 7,б

Если m_1, ℓ_1 - соответственно масса и длина наименьшего рубильника, m_k, ℓ_k - масса и длина наибольшего рубильника при длине балки ℓ между опорами,

интенсивность нагрузки q на прямоугольном участке схемы

$$q = \frac{m_1 \cdot n}{\ell}, \quad (2.10 \text{ а})$$

где n - число входящих в нагрузку рубильников.

На треугольном уча

$$q_1 = \frac{(m_k - m_1) \cdot n}{\ell}, \quad (2.106) \text{ а наибольшая интенсивность}$$

q_k определится

$$q_k = \frac{m_1 \cdot n}{\ell} + \frac{(m_k - m_1) \cdot n}{\ell} = \frac{m_k \cdot n}{\ell}. \quad (2.10)$$

При наличии в пролетах балок рубильников с установленными на них ЗЭП, масса которых существенно больше остальных, нагрузку от них принимают сосредоточенной, что значительно усложняет расчеты балок.

Подобно предыдущему распределяется нагрузка от массы собираемого узла (агрегата). При этом интенсивность нагрузки принимают пропорциональной площадям поперечных сечений собираемой конструкции. Для упрощения, учитывая, что приведенная толщина обшивки по длине объекта сборки меняется незначительно, можно значения q принять пропорционально периметрам P и высотам сечений Y .

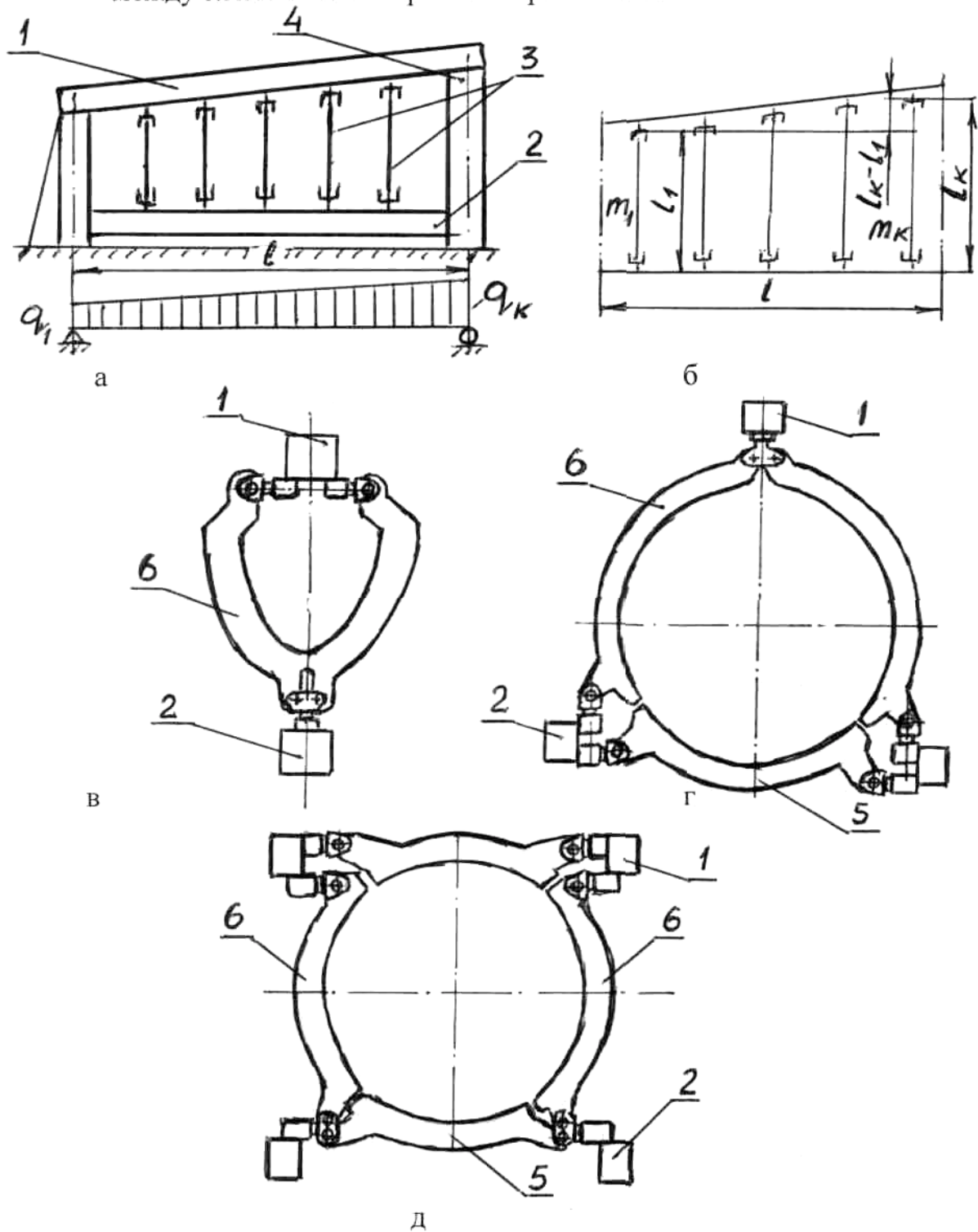
Распределение нагрузки между балками СП производят так, чтобы их прогибы при этом были наибольшими из возможных, и зависят от схемы расположения балок и типа подвески рубильников (ложементов).

Для стапелей двухбалочной схемы (рис.7,в) принимают:

а) при расчете верхней балки 1 - массу рубильников M_p , массу объекта,

сборки M_{oc} с работающими в нем людьми, а также массу установленных на ней фиксаторов;

Распределение вертикальной нагрузки
между элементами сборочных приспособлений



1 – верхняя балка; 2 – нижняя балка; 3 – рубильники; 4 – колонна;
5 – ложемент; 6 – боковые рубильники

Рис.7.

б) при расчете нижней балки 2 - также массу рубильников M_p , M_{oc} с работающими, массу фиксаторов, установленных на нижней балке. Для стапелей трехбалочной схемы (рис.7,г):

а) при расчете верхних балок учитывают массу правых и левых рубильников. Массу M_{oc} обычно не учитывают;

б) при расчете нижних балок учитывают массу боковых рубильников своей стороны, половину массы M_{oc} и половину массы нижних рубильников (ложементов).

Для стапелей четырехбалочных схем, что имеет место при проектировании ТО сборки отсеков фюзеляжа (рис.7,д) :

а) при расчете верхних балок - массу боковых рубильников, прикрепленных к балке, и половину массы верхних рубильников. Массу объекта сборки, как правило, не учитывают;

б) при расчете нижних балок учитывают массу прикрепленных боковых рубильников, половину массы ложементов, половину массы собираемого агрегата.

Безусловно, замена сосредоточенных сил распределенной нагрузкой вносит в расчеты определенные погрешности, но в учебном проектировании возможно этим пренебречь. В действительности, замена одной сосредоточенной силы, приложенной в середине пролета балки, равновеликой распределенной нагрузкой, приводит к уменьшению прогиба в 1,6 раза, и он составляет 0,625 действительного. В случае приложения к балке 8-10 сосредоточенных сил расчетный прогиб составляет 85-90% от действительного, что является допустимым для учебных расчетов.

2.6.Расчет элементов сборочного приспособления на жесткость

2.6.1.Порядок прочностных расчетов сборочных приспособлений

В условиях производства, прежде всего при отсутствии аналогов, а также при дипломном проектировании, существует следующий порядок расчета СП.

1 .По выбранной конструктивной схеме, учитывая принимаемые допущения, выбирают расчетную схему приспособления.

2.Определяют расчетные нагрузки, распределяют их между элементами СП.

3 .Из условий допустимых прогибов находят требуемые сечения балок и рубильников стапеля.

4.Производят уточнения конструкции и нагрузок, как указано в п.2.5.1.

5.По уточненным нагрузкам производят уточненный расчет сечений балок и вносят необходимые коррективы.

6.Проводят проверочный расчет прогибов балок.

7.Определяют нагрузки, действующие на колонны и фундаменты.

8.Выполняют расчет колонн и фундаментов.

При курсовом проектировании, как было указано в п.2.5.1, расчеты ведутся с некоторым отступлением от вышеприведенного порядка.

Для определения действующей нагрузки студент выбирает материал элементов конструкции и подсчитывает их массу, используя выбранные параметры СП. Расчеты начинают с определения прогиба продольных балок $y_{из} = f \leq f_{дон}$.

2.6.2. Расчет на жесткость продольных балок

Определение величины деформаций (прогиба f) производится в общем случае методом и по формулам сопротивления материалов. При этом

$$y_{из} = f = \sum (A_i \cdot P_i) \cdot \frac{\ell^3}{EJ_x}, \quad (2.11)$$

где A_i - коэффициент, учитывающий характер распределения нагрузки и вид опор (см. табл.1);

P_i - величина каждой i -й нагрузки, Н;

ℓ - длина балки между опорами в см (м);

E - модуль упругости первого рода в Н/см² (МПа);

J_x - момент инерции сечения балки относительно оси х-х в см⁴

(см.рис.5,б);

$E \cdot J_x$ - жесткость профиля, Н·см² (Н·м²).

Методикой, разработанной кафедрой «Производство ЛА» КуАИ, для практических расчетов выполнено ряд графических зависимостей основных расчетных схем для определения коэффициента A , исходя из простейшего случая, когда балка свободно лежит на двух опорах, а P действует в середине балки и $A = 1$.

Как указано в табл.1 для данного простейшего случая

$$f = \frac{1}{48} \cdot \frac{P\ell^3}{EJ} = A \frac{P \cdot \ell^3}{EJ}, \quad (2.12)$$

значит произведена замена коэффициента $1/48$ на коэффициент $A = 1$, что дает возможность пересчитать коэффициенты для любых случаев.

Для шарнирноопертых балок такие расчеты приведены на рис.8, для защемленных – на рис.9, для рамных конструкций – на рис.10.

В случае расчета элемента конструкции при действии только собственной массы, равномерно распределенной по длине ℓ , имеем

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{P\ell^4}{EJ} = 0,013 \frac{P \cdot \ell^4}{EJ}. \quad (2.13)$$

Задавшись допустимым значением $f = f_{дон} = 0,1$ мм, удалось построить кривые зависимостей $A \cdot P_{пр}$, ℓ и EJ . В расчетах основной нагрузкой является переменная $P_{пр}$ (рис.11а,б). Здесь в координатах ℓ и $A \cdot P_{пр}$ построены кубические параболы для тех значений жесткости балки, которые соответствуют прогибу $f = 0,1$ мм, при нагрузке балки $P_{пр}$ посередине пролета ($A = 1$). По этим графикам, найдя $A \cdot P_{пр}$ при заданной ℓ , находим потребную жесткость балки или рамы

Расчетные схемы и коэффициенты
к расчету шарнирноопертых балок
сборочных приспособлений

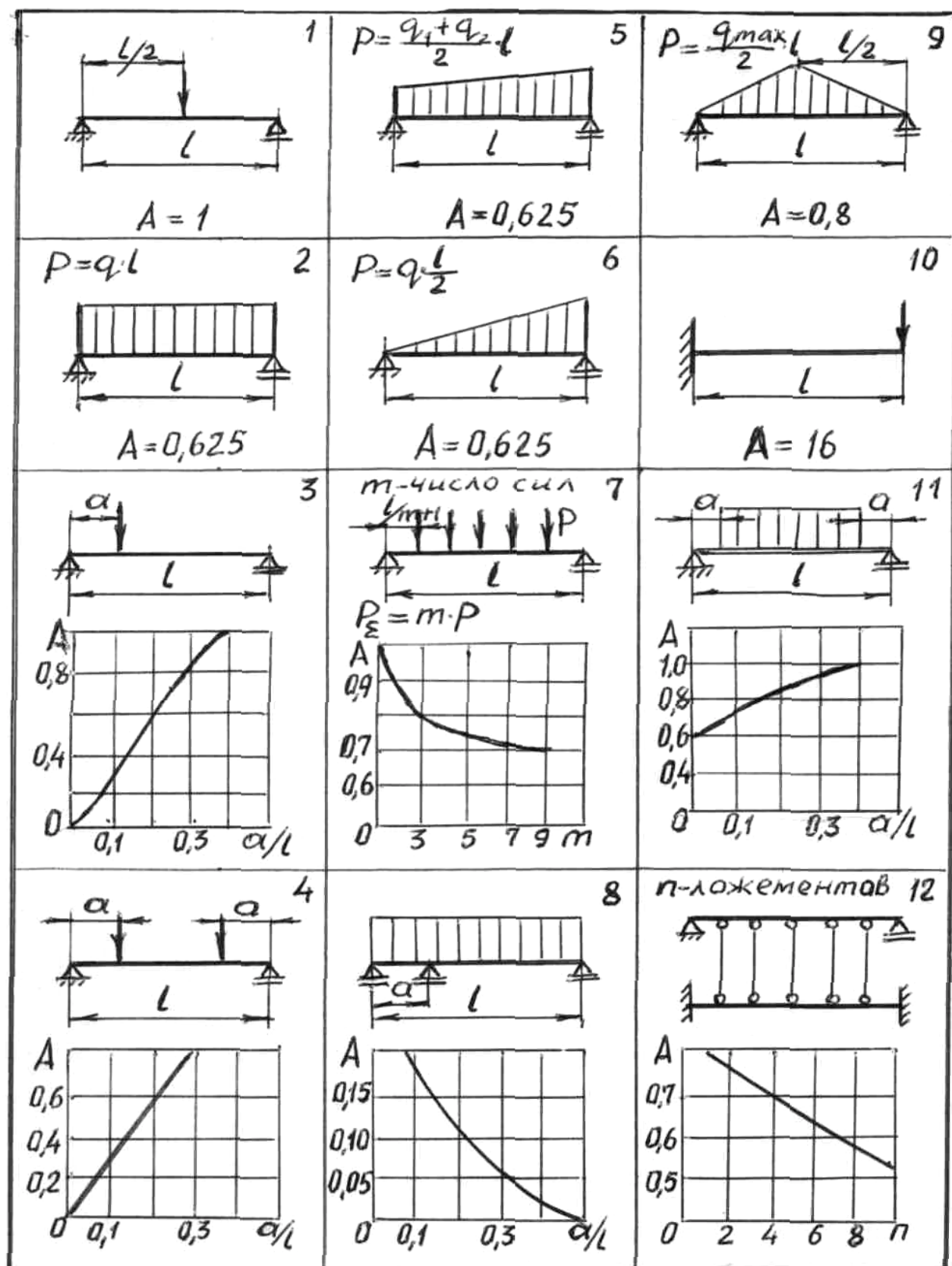


Рис.8.

Расчетные схемы и коэффициенты к расчету
защемленных балок сборочных приспособлений

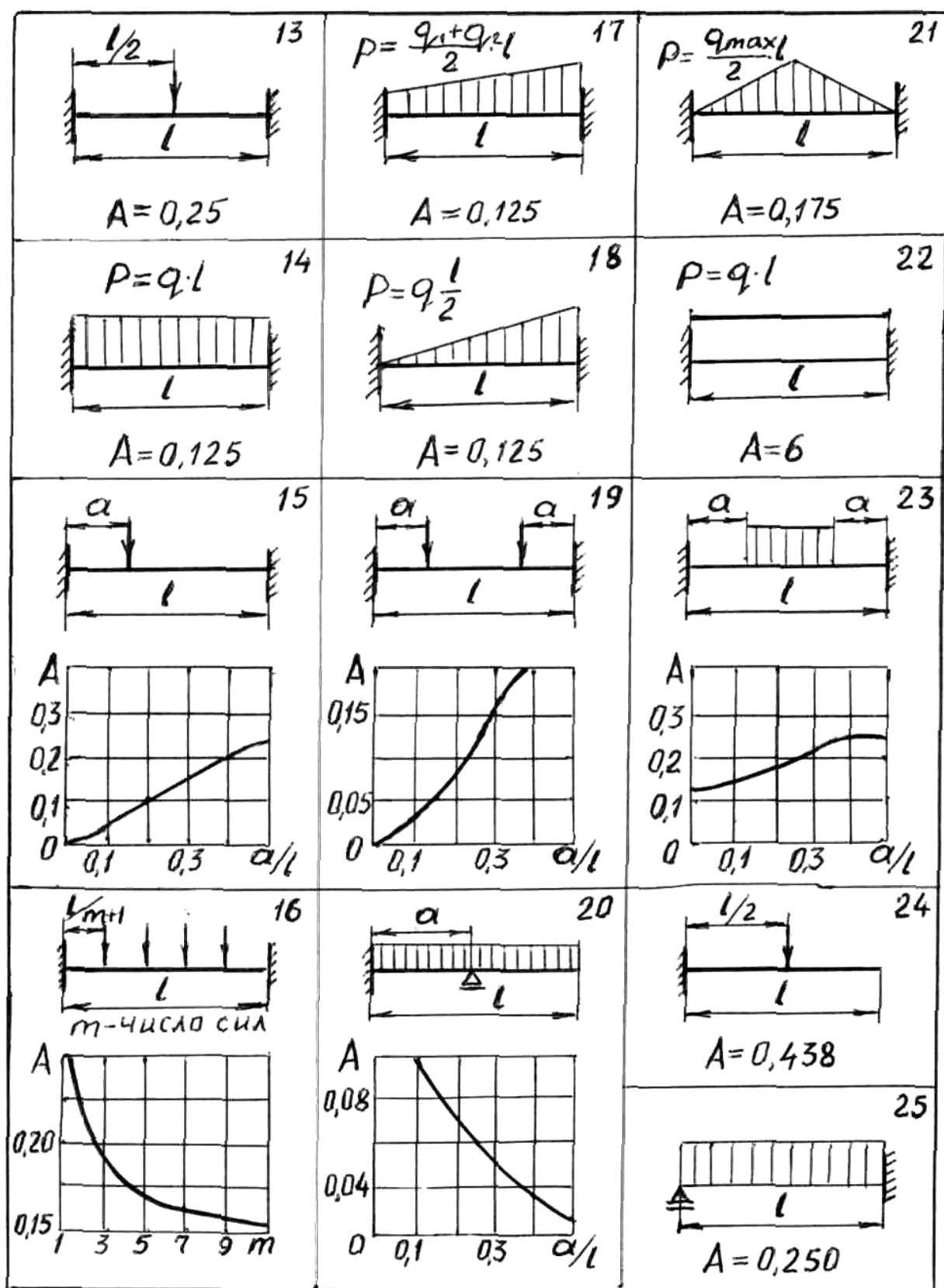


Рис.9.

Расчетные схемы и коэффициенты
к расчету рам сборочных приспособлений

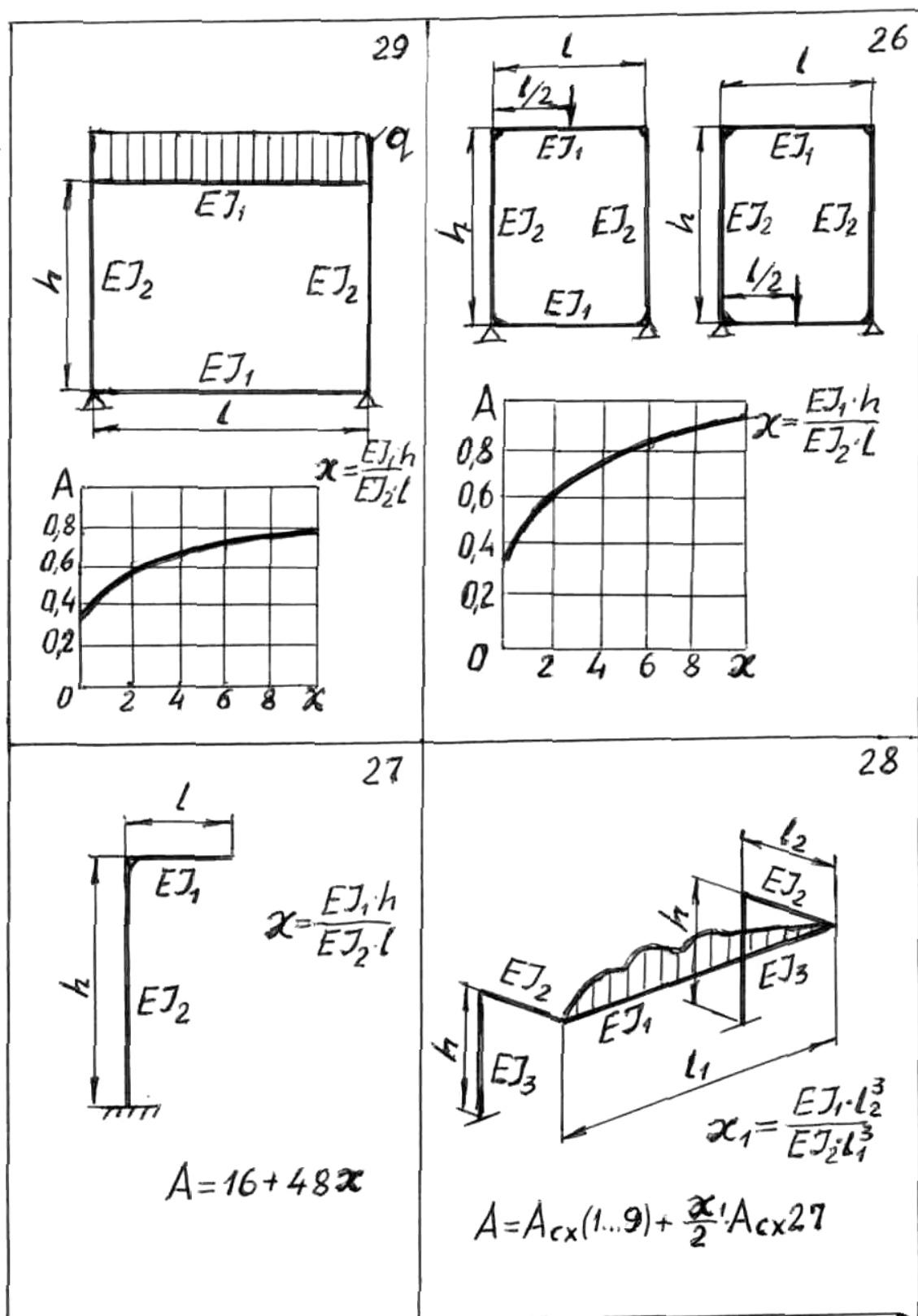
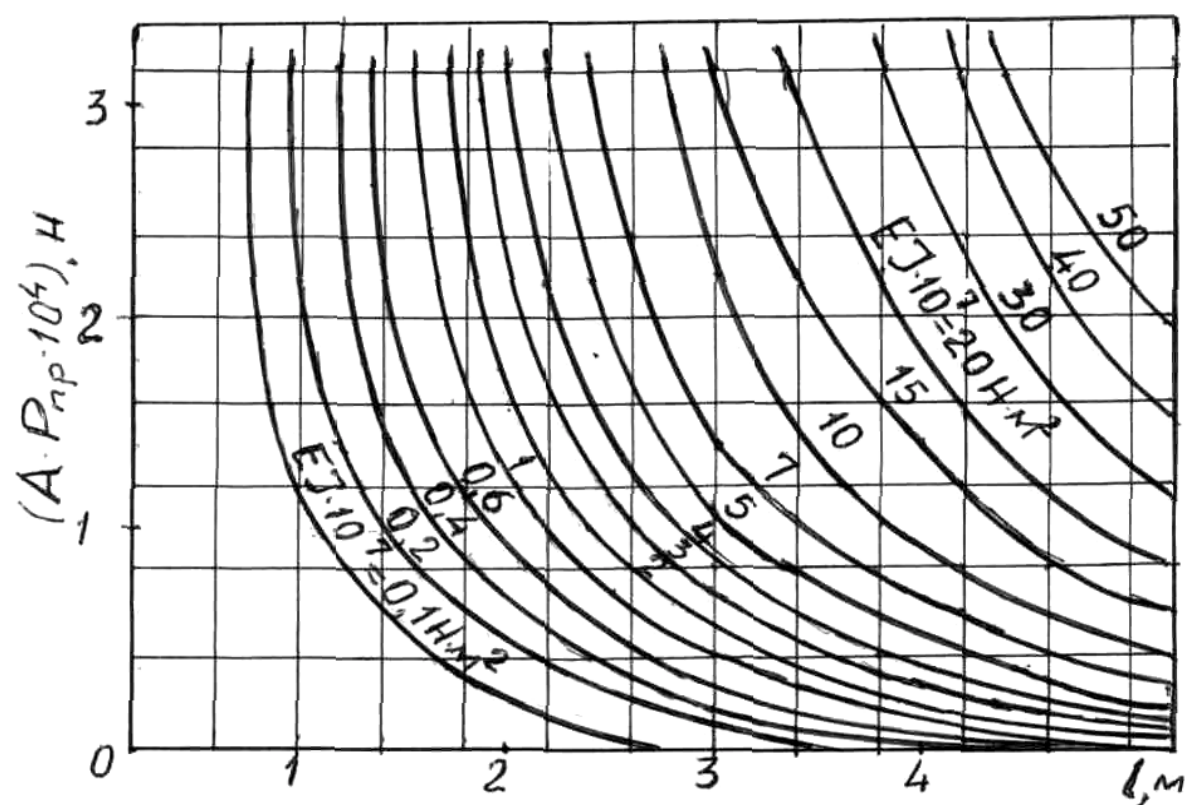
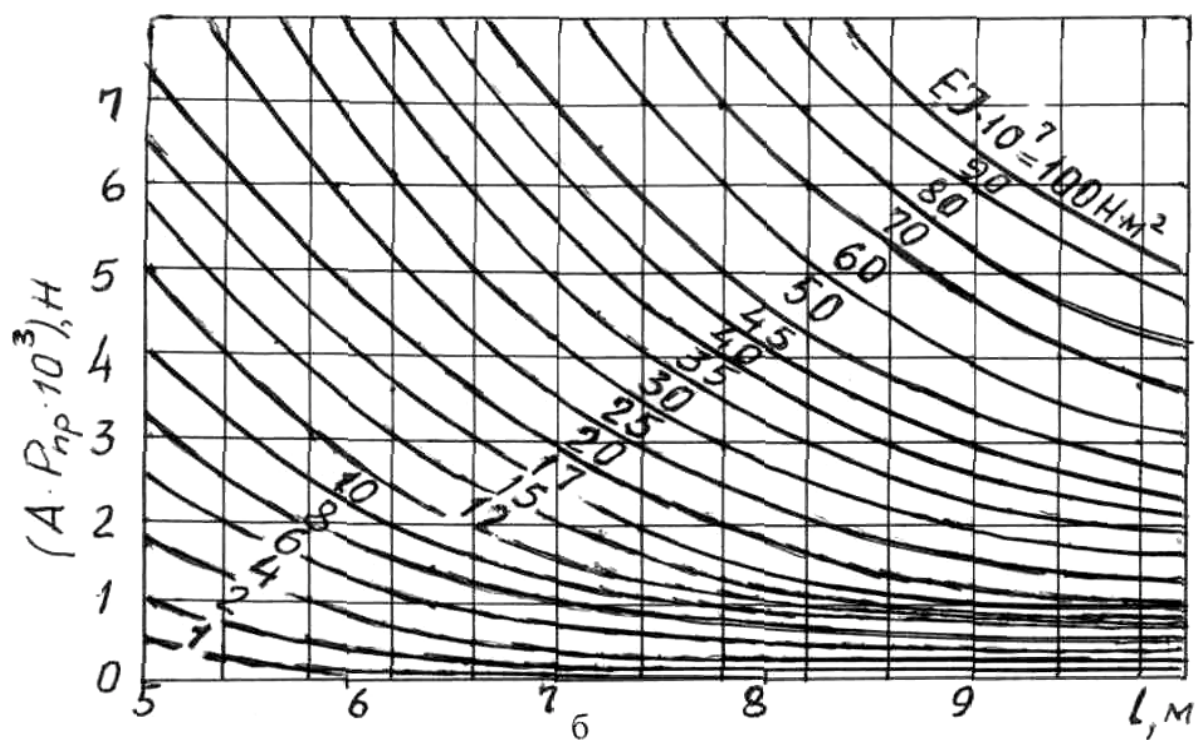


Рис.10.

Графики для подбора сечений
балок и рам сборочных приспособлений



а



а – при длине $l = 0 \dots 5$ м; б – при длине $l = 5 \dots 10$ м

Рис.11.

$EJ_{нотр}[2]$. По табл.2 соответственно $EJ_{нотр}$ подбираем размеры сечений нормализованных балок (см.рис.5,6) [10].

Таблица 2

Типы и рекомендуемые сечения швеллерных балок

| Тип балки | № швеллера | 12 | 14а | 16а | 18а | 20а | 24а | 27 | 30 |
|-----------|--------------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | № сечения параметры | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | H , мм | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 240 | 270 | 300 |
| | B , мм | 104 | 124 | 136 | 148 | 160 | 190 | 190 | 200 |
| | $EJ_x \cdot 10^7$, Н·м ² | 0,13 | 0,23 | 0,35 | 0,50 | 0,70 | 1,34 | 1,75 | 2,44 |
| | $EJ_y \cdot 10^7$, Н·м ² | 0,09 | 0,16 | 0,22 | 0,30 | 0,40 | 0,74 | 0,83 | 1,08 |
| | $q \cdot 10$, Н/м | 20,9 | 26,7 | 30,6 | 34,9 | 39,6 | 51,7 | 55,3 | 63,6 |
| | № швеллера | 20а | 24а | 24а | 24а | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | H , мм | 250 | 250 | 300 | 350 | 300 | 350 | 400 | 500 |
| | B , мм | 220 | 260 | 260 | 260 | 320 | 320 | 320 | 320 |
| | $EJ_x \cdot 10^7$, Н·м ² | 1,48 | 1,77 | 2,82 | 4,19 | 3,39 | 5,00 | 6,95 | 12,1 |
| | $EJ_y \cdot 10^7$, Н·м ² | 1,67 | 2,72 | 3,05 | 3,37 | 5,06 | 5,57 | 6,07 | 7,07 |
| | $q \cdot 10$, Н/м | 12,5 | 84,6 | 92,4 | 100,0 | 104,5 | 112,2 | 120,0 | 136,6 |

Действительная жесткость балки должна быть не менее потребной. При определении коэффициента A необходимо сначала задаться отношением $x = \frac{EJ_1 \cdot h}{EJ_2 \cdot \ell}$

(см. рис.10), которое выбирают на основании опыта или методом последовательных приближений.

Пример расчета. Стапель сборки панели имеет продольную балку с расстоянием между опорами $\ell = 2000$ мм, сваренную из 2 швеллеров № 14 с накладками $S = 10$ мм (рис.12). Нагрузка балки : масса рубильников, установленных с шагом 500 мм, и собираемой панели шириной $B = 1500$ мм.

Конструктивно принимаем :

длина рубильника $\ell_p = 2000$ мм;

ширина рубильника $b = 200$ мм;

толщина рубильника $S_p = 30$ мм;

приведенная толщина панели (с учетом сечения стрингеров $f_{стр}$) $S_{пр} = 8$ мм.

Определяем величину внешней нагрузки

Масса рубильников $P_p = M_p \cdot n$, где количество рубильников n определится:

К расчету на жесткость продольной балки

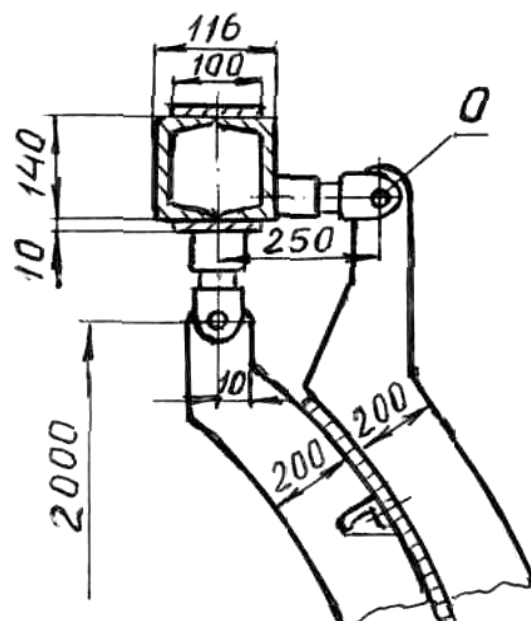


Рис.12.

Схемы нагружения и расчета колонн

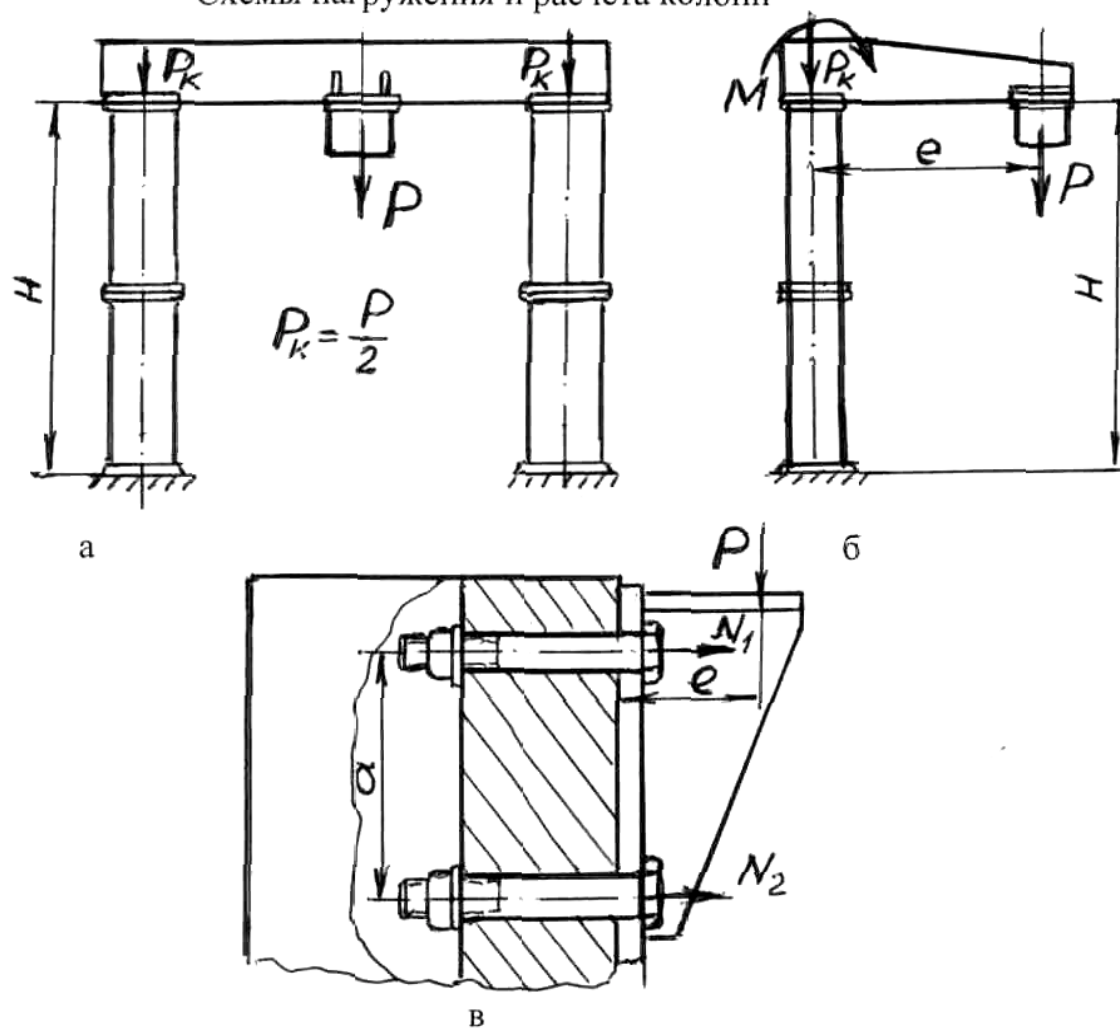


Рис.13.

$$n = 2\left(\frac{2000}{500} + 1\right) = 10$$

штук (5 пар), а масса одного рубильника из

дюралюминие

вой плиты M_p (массовая плотность $\rho = 2,8 \text{ г/см}^3$)

$$M_p = \ell_p \cdot b \cdot S_p \cdot \rho = 200 \times 20 \times 3 \times 2,8 \cong 34 \text{ кг},$$

тогда $P_p = 34 \cdot 10 = 340 \text{ кг}$,

масса собираемой панели

$$M_n = B \cdot L \cdot S_{np} \cdot \rho = 150 \times 200 \times 0,8 \times 2,8 \cong 67 \text{ кг} = P_n$$

Переменная нагрузка $P_{np} = P_p + P_n = 340 + 67 = 4070 \text{ Н}$ интенсивность рав

новеликой распределенной нагрузки на балку $q_o = \frac{P_{np}}{\ell} = \frac{4070}{200} = 20,35 \text{ Н/см}$

Подбираем сечение балки. Соответственно расчетной схеме (см.рис.8, схема 2) устанавливаем коэффициент $A = 0,625$. Тогда расчетная нагрузка $P = \kappa \cdot P_{np} = 0,625 \cdot 4070 = 2544 \text{ Я}$. По диаграмме (см.рис. 11) для $\ell = 2,0 \text{ м}$ находим требуемую жесткость EJ . По табл.2 принимаем балку нужных размеров сечения $H \times B$.

По приведенной методике ведут расчет поперечных балок.

2.7.Расчет элементов сборочного приспособления на прочность

2.7.1.Расчет колонн

Наиболее часто колонны СП нагружаются сжимающими силами P (рис. 13,а) или сжимающими силами и изгибающим моментом $M_{из}$ (рис. 13,б). Так как размеры сечений нормализованных колонн достаточно велики, деформации их сжатия практически ничтожны, а потому расчет на чистое сжатие не проводится. Не проверяются колонны и на продольную устойчивость. При внецентренном сжатии (см.рис. 13,б) возможно перемещение точки подвески продольной

$$y_{e,n} = \frac{P_{\kappa} \cdot e \cdot H}{EJ}, \quad (2.14)$$

здесь P_{κ} - действующая на колонну вертикальная нагрузка; H -

расчетная высота колонн; e - эксцентриситет

действующей нагрузки; E - модуль упругости материала

колонны.

Для железобетонных колонн наиболее опасны напряжения растяжения, так

как могут вызвать трещины. Возникающие напряжения растяжения могут быть подсчитаны по формуле

$$\sigma_{расч} = \frac{P_{\kappa} \cdot e}{W_{np}} - \frac{P_{\kappa}}{F_{np}}, \quad (2.15)$$

где P_{κ} - действующая нагрузка; e - эксцентриситет нагрузки;
 W_{np} - приведенная (к бетону) площадь сечения колонны.

Расчет производится по методикам, изложенным в курсах «Сопротивление материалов» и « Детали механизмов и машин».

Необходимо также произвести расчет на вырывание болтов при креплении кронштейнов к стенкам железобетонных колонн и разрыв болтов при креплении к металлическим колоннам (рис.13, в).

2.7.2. Расчет фиксирующих элементов

Фиксаторы, их соединение в УЭ подвергаются нагрузке, связанной с деформацией объекта сборки в основном от напряжений, вызванных клепкой. Практически определить эти нагрузки невозможно, так как влияющими оказываются многочисленные факторы. Задают расчетные нагрузки из условий эксплуатации СП исходя из того, чтобы напряжения в деталях не превосходили предел текучести $\sigma < (\sigma_{T02})$.

Для фиксаторов типа «ухо-вилка» $P_{расч}$ определяется из условий работы на срез $[m_{ср}]$ или $[a_{см}]$ - для подвижных соединений.

$$(2.16) \quad P_{расч} = P_{ср} = 2 f_{\delta} [\tau_{ср}],$$

где f_{δ} - площадь сечения болта (штыря);

$\tau_{ср}$ - предел текучести материала на срез, принимаемый равным 0,6 ... 0,7 предела текучести материала на растяжение. Для таких случаев прогиб

$$f_{\max} = 1/3 \cdot \frac{P_{ср} \cdot \ell^3}{EJ} \leq 0,1 \text{ мм} \quad (2.17)$$

При вертикальной схеме сборки и возможном прогибе верхней балки необходима проверка рубильников на устойчивость при продольном изгибе как шарнирноопертого сжатого стержня по методикам, изложенным в курсе «Сопротивление материалов».

2.7.3. Расчет элементов крепления кронштейнов

В случаях применения СП консольного типа (см.рис.2) продольные балки крепятся к кронштейнам, а они к колоннам болтовым соединением.

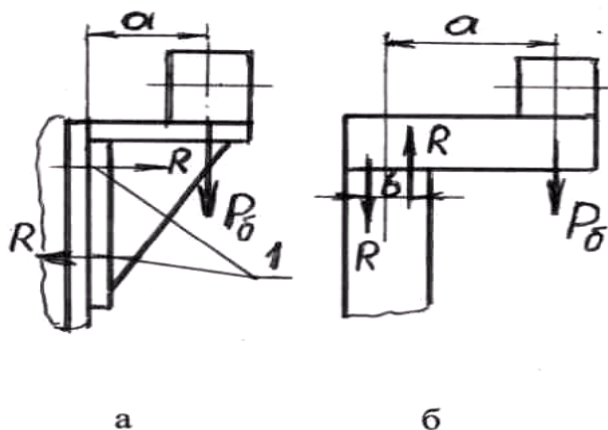


Рис.14.

Болты крепления 1 (схема « а ») рассчитываются на срез от действующей силы P_6 и на сжатие от действующего момента $M = P_6 \cdot a$;

$$\tau_{cp} = \frac{4 \cdot P_6}{\pi d^2 \cdot n} ; \quad (2.17a)$$

$$\sigma_p = \frac{4 \cdot P_6 \cdot a}{\pi d_{min}^2 \cdot (n/2) \cdot b} \quad (2.176)$$

где d и d_{min} - соответственно диаметры гладкой части и впадин резьбы болта; n - количество болтов в соединении.

начения τ_{cp} и σ_p сравниваются с допускаемыми напряжениями $\tau_{cp} \leq [\tau]$, $\sigma_p \leq [\sigma]$.

2.8. Подготовка описания спроектированного технологического оснащения и его обоснование

Проверив расчетами элементы приспособления, заканчивают вычерчивание общего вида и прорабатывают конструкцию фиксаторов и прижимов. При этом учитывают вопросы, изложенные в п.2.2, то есть оценивают и обосновывают конструктивно-силовую схему СП, применение нормализованных и унифицированных элементов и т.п.

Описывается увязка элементов СП между собой, их материал и методы изготовления, средства механизации, вмонтированные в приспособления и т.д.

3. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ № 6. РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ СБОРКИ УЗЛА (АГРЕГАТА)

3.1. Основные понятия и формулы расчета

Итогом разработки технологического процесса сборки узла или агрегата должен стать проверочный расчет предполагаемой точности его изготовления.

Различают заданную (требуемую) точность, которую назначает конструктор ОКБ при проектировании изделия и указывает в технических условиях (ТУ), действительную точность, реально получаемую в результате изготовления изделия и определяемую его измерением, и ожидаемую точность, которую предполагается получить для узла или агрегата в результате выбранных технологических процессов изготовления входящих в него деталей, методов их сборки, методов изготовления и увязки оснастки и т.д.

Ожидаемую точность получают в результате аналитического расчета, выполненного по определенной методике на этапе завершения проектирования технологического процесса сборки и его оснащения.

В курсовом проекте задачей студента является выполнение расчета ожидаемой точности, сопоставление ее с заданной точностью на узел или агрегат по ТУ. При неудовлетворительных результатах студент обязан внести в технологические и конструкторские решения соответствующие изменения, которые необходимы для гарантированного получения ожидаемой точности, соответствующей заданной по ТУ. Для расчета ожидаемой точности применяется аппарат теории размерных цепей, с которым рекомендуется ознакомиться по учебнику [4,5]. При этом в курсовом проектировании, когда необходимо произвести расчет ожидаемой точности узла или агрегата, например, по отклонению от теоретического контура, т.е. вдоль линии, перпендикулярной теоретическому контуру, используется теория линейной размерной цепи. Как известно, размер замыкающего звена для линейной размерной цепи определяется по уравнению размерной цепи :

$$L_{зам} = \sum_{i=1}^n \xi_i \ell_i , \quad (3.1)$$

где ℓ_i - составляющие звенья размерной цепи;

ξ_i - передаточное отношение, характеризующее влияние составляющих звеньев на замыкающее звено. $\xi_i = +1$ -для «увеличивающих» звеньев, т.е. для звеньев, величина которых увеличивает величину замыкающего звена, $\xi_i = -1$ -для «уменьшающих» звеньев, т.е. для звеньев, величина которых уменьшает величину замыкающего звена.

Если составляющие звенья размерной цепи выполнены с производственными погрешностями S_i , то замыкающее звено будет иметь погрешность, определяемую уравнением производственных погрешностей:

$$\delta L_{зам} = \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot \delta_i . \quad (3.2)$$

Из вышеизложенного следует, что студентам при решении задачи по расчету ожидаемой точности агрегата или узла необходимо составить и решить уравнение погрешностей замыкающего звена (3.2). При этом в качестве составляющих погрешностей, образующих итоговую погрешность агрегата, следует взять погрешности, появляющиеся на всех этапах получения $L_{зам}$ - погрешности изготовления деталей, агрегата и элементов оснастки, входящие в размерную цепь, а также погрешности, возникающие от деформаций при клепке, изменениях температуры и т.д.

Решение уравнения производственных погрешностей (3.2) может быть выполнено расчетом на максимум - минимум, когда величину ожидаемой точности

агрегата получают в случае самого худшего сочетания всех погрешностей – то есть при их сложении. Теоретически более правильным является методика расчета, основанная на принципах теории вероятностей. В этом случае решение уравнения погрешностей сводится к определению двух основных характеристик погрешности замыкающего звена [2] :

Δ_{Σ} - координаты центра группирования погрешностей сборки ;

δ_{Σ} - половина поля погрешности замыкающего звена (среднеквадратичное отклонение).

Для агрегата, например, фюзеляжа, расположение полей указанных погрешностей и допусков, заданных техническими условиями (ТУ), в этом случае будет выглядеть согласно схеме (рис.15).

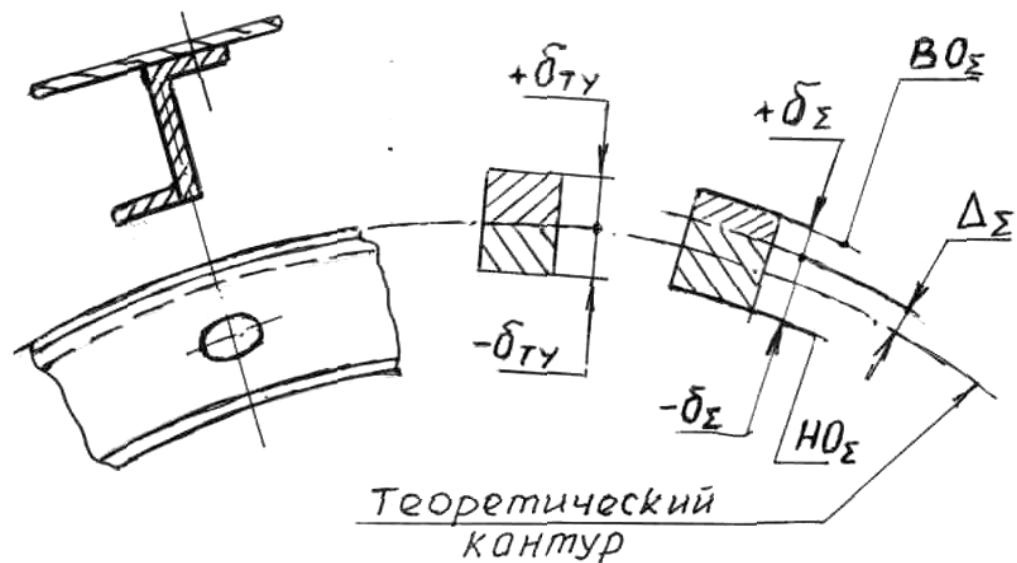


Рис.15.

Как следует из схемы, верхнее и нижнее предельные отклонения замыкающего размера собранного агрегата будут равны соответственно :

$$BO_{\Sigma} = \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma} , \quad (3.3)$$

$$HO_{\Sigma} = \Delta_{\Sigma} - \delta_{\Sigma} . \quad (3.4)$$

Согласно теории вероятностей величины Δ_{Σ} и δ_{Σ} определяются по формулам :

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (\xi_i \Delta_i + \xi_i \delta_i a_i) ; \quad (3.5)$$

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \xi_i^2 \cdot K_i^2 \cdot \delta_i^2} , \quad (3.6)$$

где p - количество звеньев, участвующих в формировании замыкающего звена (размера);

Δ_i - координата середины поля допуска составляющего звена;

δ_i - половина поля допуска составляющего звена;

a_i - коэффициент относительной асимметрии распределения погрешностей составляющего звена;

K_i - коэффициент относительного рассеивания размера составляющего звена.

Для технологических процессов получения размеров, характеризующихся нормальным (по закону Гаусса) распределением погрешностей, величины a_i и K_i соответственно равны 0 и 1. Для техпроцессов, не имеющих нормального распределения погрешностей, параметры a_i и K_i определяются экспериментально и приводятся в справочных материалах.

Координата середины поля допуска составляющего звена равна

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

BO_i где- HO_i верхнее и- нижнее предельные отклонения. При симметричном $\Delta_i = 0$.
расположении поля допуска

Половина поля допуска составляющего звена равна

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

Полученные в результате расчета величины ожидаемых отклонений не должны превышать отклонений, заданных техническими условиями на изделие. В таблице 3 приведены среднестатистические данные о допустимых отклонениях аэродинамических поверхностей для современных самолетов, для скорости полета соответственно $M \sim 0,75 - 0,85$.

Таблица 3

| Агрегат | Части агрегатов | Отклонения, мм |
|------------------------------|--------------------------------|----------------|
| Фюзеляж | Носовая часть | $\pm 1,0$ |
| | Средняя и хвостовая части | $\pm 2,0$ |
| Крыло, стабилизатор, киль | Передняя часть (против потока) | $\pm 1,0$ |
| | Задняя часть (по потоку) | $\pm 2,0$ |
| Мотогондола | Передняя часть (против потока) | $\pm 1,0$ |
| | Задняя часть (по потоку) | $\pm 2,0$ |

3.2.Производственные погрешности

Погрешности, определяющие точность выполнения собираемых изделий, можно разделить на три основные группы, как это показано в таблице 4.

Таблица 4

| Группа | Вид погрешности | Обозначение |
|---|--|--|
| Погрешность исходного элемента, от которого начинается сборка | Погрешность изготовления базовой детали (при сборке по СО) | $\delta_{\text{баз}}$ |
| | Погрешность изготовления приспособления для сборки | $\delta_{\text{пр}}$ |
| Погрешность увязки | Погрешность взаимной увязки сборочных отверстий базовой и устанавливаемой деталей | $C_{\text{со}}(\text{дет}1 - \text{дет}2)$ |
| | Погрешность взаимной увязки рабочего контура приспособления и устанавливаемой детали | $C_{\text{кон}}(\text{пр} - \text{дет})$ |
| | Погрешность взаимной увязки сборочных приспособлений | $C_{\text{пр}}(\text{объект}1 - \text{объект}2)$ |
| | Погрешность увязки контура и координатно-фиксирующего отверстия детали | $C_{\text{дет}}(\text{кон.} - \text{КФО})$ |
| | Погрешность увязки контура и сборочного отверстия детали | $C_{\text{дет}}(\text{кон.} - \text{СО})$ |
| | Погрешность взаимной увязки контуров базовой и устанавливаемой на нее деталей | $C_{\text{кон}}(\text{дет}1 - \text{дет}2)$ |
| Погрешности, не зависящие от метода базирования | Погрешности, вызванные деформацией от клепки, сварки | $\delta_{\text{кл}}, \delta_{\text{св}}$ |
| | Погрешности, вызванные температурными изменениями | δ_t |
| | Погрешности, вызванные деформациями сборочных приспособлений | δ_f |
| | Погрешности, вызванные изменением толщины материала | δ_s |

Для технологических процессов изготовления самолетных деталей и элементов сборочной оснастки, а также для методов переноса размеров, применяемых в современном самолетостроении, накоплены статистические данные о возникающих при этом производственных погрешностях, а также о величинах a , и K_f , которые приведены в таблице 5.

Таблица 5

| Обозначение этапа | Технологический процесс или метод переноса размера | Отклонение контура, мм | Отклонение между осями отверстий, мм | a_i | K_i |
|--------------------------------|--|------------------------|--------------------------------------|-------|-------|
| ТЧ-ТП | Расчерчивание | -0,1; +0,1 | - | 0 | 1 |
| ТП-КП | Расчерчивание | 0; -0,1 | $\pm 0,05$ | 0 | 1 |
| КП-ОК | Фотопечать | $\pm 0,1$ | $\pm 0,05$ | 0 | 1 |
| ОК-ШК | Припиловка | 0; -0,15 | $\pm 0,1$ | 0,5 | 1,4 |
| ШК-ШВК | То же | 0; +0,15 | $\pm 0,1$ | 0,5 | 1,4 |
| ШК-ШРД | То же | 0; +0,3 | $\pm 0,1$ | 0,5 | 1,4 |
| ШРД-ШФ | То же | -0,5; 0 | $\pm 0,1$ | 0,5 | 1,4 |
| ШФ-деталь | Фрезерование | $\pm 0,2$ | $\pm 0,2$ | 0 | 1 |
| ШК-ШОК | Припиловка | 0; +0,2 | $\pm 0,15$ | 0,5 | 1,4 |
| КП-ШМФ | То же | 0; +0,1 | $\pm 0,15$ | 0,5 | 1,4 |
| ШМФ-рубильник | То же | $\pm 0,2$ | - | 0,5 | 1,4 |
| Рубильник-ПК | Слепок | $\pm 0,1$ | - | 0,5 | 1,4 |
| ШВК-формблок | Припиловка | $\pm 0,2$ | $\pm 0,15$ | 0,5 | 1,4 |
| КП-ШКС | То же | -0,2; 0 | $\pm 0,15$ | 0,5 | 1,4 |
| ШКС-КШКС | То же | 0; +0,2 | - | 0,5 | 1,4 |
| КШКС-МП | То же | 0; -0,2 | $\pm 0,15$ | 0,5 | 1,4 |
| ШОК-болванка | Пригонка | 0; +0,2 | $\pm 0,35$ | 0,5 | 1,4 |
| ПК-приспособление | Фиксация штырями | $\pm 0,1$ | $\pm 0,02$ | 0 | 1 |
| ИС-приспособление | То же | $\pm 0,1$ | $\pm 0,02$ | 0 | 1 |
| МЭ-приспособление | Фиксация штырями | $\pm 0,1$ | $\pm 0,1$ | 0 | 1 |
| Формблок-деталь | Штамповка резиной | 0; +0,3 | - | 0 | 1 |
| Болванка-деталь | То же | +0,5; +1,3 | - | 0,2 | 1,1 |
| ШОК-деталь | Сверление | - | $\pm 0,2$ | 0 | 1 |
| ШКС-штамп | Пригонка | 0; +0,3 | $\pm 0,1$ | 0,5 | 1,4 |
| Штамп-деталь | Штамповка | $\pm 0,2$; 0 | - | 0,2 | 1,1 |
| МП-КЭ | Слепок | 0; +0,1 | $\pm 0,1$ | 0 | 1 |
| КЭ-МЭ | То же | -0,1; 0 | $\pm 0,1$ | 0 | 1 |
| ШК-ШГП | Припиловка | 0; +0,2 | - | 0,5 | 1,4 |
| ШГП-пуансон | То же | $\pm 0,2$ | - | 0,5 | 1,4 |
| Пуансон-деталь | Гибка на ПГР | 0; +0,5 | - | 0,2 | 1,2 |
| Кондуктор-деталь | Сверление | - | $\pm 0,05$ | 0 | 1 |
| СЧПУ-шаблон | Мех. обработка | $\pm 0,1$ | $\pm 0,1$ | 0 | 1 |
| СЧПУ-рубильник (СЧПУ-ложемент) | То же | $\pm 0,15$ | - | 0 | 1 |
| ШКС-копир | Припиловка | 0; +0,2 | - | 0,5 | 1,4 |
| Копир-обшивка | Штамповка - гибка | +0,5; +1,5 | - | 0,2 | 1,1 |
| ШВК-макетный шпангоут | Припиловка | $\pm 0,2$ | ± 1 | 0,5 | 1,4 |
| ПК-макетный шпангоут | Разметка отверстий | $\pm 0,1$ | $\pm 0,1$ | 0,5 | 1,4 |

3.3. Влияние метода базирования на точность сборки

3.3.1. Сборка с базированием на внешнюю поверхность («от обшивки»)

При этом методе базирования деталь, образующая внешний обвод агрегата или узла (например, обшивка или профиль для соответственно фюзеляжа или шпангоута), прижимается к фиксатору наружного контура (ложемента, рубильника) сборочного приспособления специальными прижимами и в этом состоянии осуществляются установка и крепление остальных элементов сборки. В этом случае погрешность выполнения внешнего контура агрегата или узла определяется уравнением

$$\delta_{сб} = \delta_{пр} + \delta_{уст} + \delta_{кл} + \delta_f + \delta_t, \quad (3.7)$$

где $\delta_{сб}$ – погрешность готовой сборки;

$\delta_{пр}$ – погрешность сборочного приспособления;

$\delta_{уст}$ – погрешность установки самолетной детали на базовый элемент оснастки, как, например, величина местного зазора между рубильником и обшивкой после установки прижимов;

$\delta_{кл}, \delta_f, \delta_t$ – соответственно погрешности, вызываемые клепкой, деформацией приспособления, изменением температуры.

Для расчета ожидаемой точности сборки следует приближенно принять сумму последних погрешностей, равной 40% от общей погрешности сборки, т.е.

$$\delta_{кл}, \delta_f, \delta_t = 0,4\delta_{сб}.$$

В этом случае получим

$$0,6\delta_{сб} = \delta_{пр} + \delta_{уст}. \quad (3.8)$$

В свою очередь величина $\delta_{уст}$ получается из первоначально имеющейся погрешности взаимной увязки контуров детали и приспособления, обусловленной допусками на их изготовление (т.е., например, максимальная величина зазора между рубильником и обшивкой в ее свободном состоянии), которая впоследствии уменьшается за счет установки вышеупомянутых специальных прижимов и превращается в ряд местных зазоров между приспособлением и деталью (рубильником и обшивкой в ее прижатом состоянии). Вышеизложенное отражается уравнением :

$$\delta_{уст} = C_{кон} (пр. - дет) \cdot K_{приж},$$

где $C_{кон} (пр. - дет)$ – погрешность взаимной увязки контуров приспособления и детали;

$K_{приж}$ – коэффициент прижима, отражающий уменьшение величины погрешности установки за счет установки спец. прижимов.

Ясно, что при увеличении количества прижимов детали к приспособлению величина погрешности установки уменьшается. В таблице 6 приведены величины $K_{приж}$ в зависимости от количества прижимов в приспособлении.

Таблица 6

| Кол-во прижимов | 3 | 4 | 5 | 7 | 8 |
|--------------------------|-----|------|------|------|------|
| $\ell_{пр} / \ell_{дет}$ | 0,5 | 0,33 | 0,25 | 0,18 | 0,15 |
| $K_{приж.}$ | 0,6 | 0,5 | 0,25 | 0,2 | 0,1 |

В таблице 6 $\ell_{дет}$ - длина детали;

$\ell_{пр}$ - расстояние между соседними прижимами.

Итоговая формула для расчета ожидаемой погрешности сборки, выполняемой методом «от обшивки», будет иметь вид :

$$\delta_{сб} = \frac{\delta_{пр} + C_{кон} (пр. - дет) \cdot K_{приж.}}{0,6} . \quad (3.9)$$

Этой формулой следует пользоваться при расчете погрешностей для узлов типа нервюр, шпангоутов, лонжеронов, собираемых в сборочных приспособлениях, имеющих фиксаторы (ложементы, рубильники) внешнего контура, так как водообразующие детали этих узлов могут быть прижаты к фиксаторам, а также для агрегатов, для которых имеется технологическая возможность ведения сборки от обшивки.

3.3.2. Сборка по сборочным отверстиям

При этом методе сборка происходит без приспособления. Поэтому в качестве исходного элемента, от которого ведется сборка и происходит накопление погрешностей, берется одна из деталей конструкции самолета.

Так, например, для сборки по СО стенки лонжерона с двумя (дет.1, дет.2) поясами уравнение ожидаемой погрешности узла по размеру от верхнего до нижнего пояса лонжерона будет иметь вид :

$$\delta_{сб} = \delta_{баз} + C_{дет1} (кон - СО) + C_{дет2} (кон - СО) + \delta_{кл} + 2\delta_{фикс} , \quad (3.10)$$

где $\delta_{баз}$ - погрешность базовой детали (стенки);
 $C_{дет1} (кон - СО), C_{дет2} (кон - СО)$ - погрешности увязки контура и СО первого и второго поясов;
 $\delta_{кл}$ - погрешность от клепки;
 $2\delta_{фикс}$ - погрешность фиксирования базовой и устанавливаемой деталей (зазор между отверстием и штырем фиксатора).

При сборке по СО считается, что две последние погрешности составляют до 30% погрешности сборки, т.е. $\delta_{кл} + 2\delta_{фикс} = 0,3\delta_{сб}$.

Таким образом, итоговое уравнение примет вид :

$$\delta_{сб} = \frac{\delta_{баз} + C_{дет1}(кон - CO) + C_{дет2}(кон - CO)}{0,7} \quad (3.11)$$

При сборке агрегата из узлов, собранных по СО (например, крыла с базой на собранные лонжероны), компенсация при установке обшивки невозможна. Поэтому погрешность собранного таким образом крыла будет иметь вид :

$$\delta_{сб} = \frac{\delta_{баз} + C_{дет1}(кон - CO) + C_{дет2}(кон - CO) + 2\delta_s}{0,7} \quad (3.12)$$

где δ_s - погрешность толщины обшивки.

3.3.3. Сборка по КФО

При этом методе сборка происходит в приспособлении, которое является базовым элементом для последующей установки деталей самолета и соответственно накопления погрешностей.

Так, для сборки в СП 1 по КФО агрегата, например, мотогондолы (рис.16), состоящей из обшивки 2, дуг шпангоутов 3,4 (детали 1,2), уравнение погрешностей будет иметь следующий вид:

$$\delta_{сб} = \delta_{пр} + C_{дет1}(кон - КФО) + C_{дет2}(кон - КФО) + \delta_f + \delta_t + 2\delta_{фик} + \delta_{кл} + \delta_s.$$

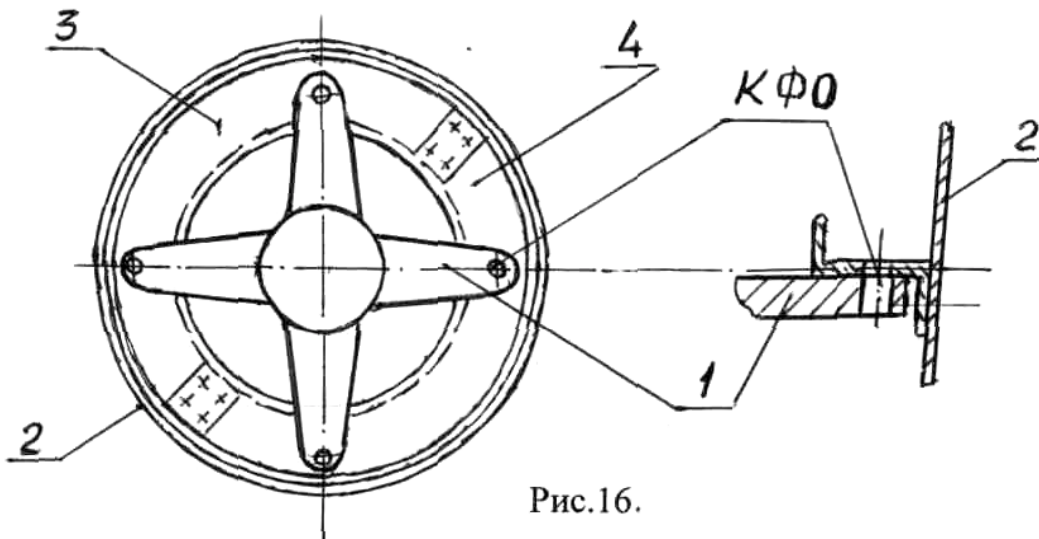


Рис.16.

Приняв, что $\delta_f + \delta_t + 2\delta_{фик} + \delta_{кл} = 0,5\delta_{сб}$, получим общее уравнение погрешности диаметра мотогондолы

$$\delta_{сб} = \frac{\delta_{пр} + C_{дет1}(кон - КФО) + C_{дет2}(кон - КФО) + \delta_s}{0,5} \quad (3.13)$$

3.3.4. Сборка с базой на внешнюю поверхность каркаса

Метод используется для изготовления агрегатов или их секций. При этом в стапель сборки агрегата устанавливаются узлы, ранее окончательно изготовлен-

ные в приспособлениях с базой на внешнюю поверхность (от обшивки). Базирование узлов производится по имеющимся в стапеле агрегата и самолетных узлах координатно - фиксирующим отверстиям. Установленные этим образом узлы накрываются обшивкой.

Так, например, собирается фюзеляж, когда в стапель его сборки по КФО первоначально устанавливаются ряд шпангоутов, предварительно изготовленных в сборочных приспособлениях с базой (по рубильникам) по внешнему контуру, а затем накрываются и скрепляются обшивкой.

В этом случае компенсация погрешностей за счет установки прижимов невозможна, т.к. жесткость собранных шпангоутов очень велика. Более того, к погрешностям изготовленных шпангоутов добавляются погрешности увязки стапеля сборки фюзеляжа (объект 1) и приспособления для сборки шпангоута (объект 2), а также погрешности толщины обшивки. Тогда формула (3.9) ожидаемой погрешности сборки фюзеляжа примет вид :

$$\delta_{\text{сб}} = \frac{\delta_{\text{пр.шп.}} + C_{\text{кон}} (\text{пр.шп.} - \text{дет.шп.}) + C_{\text{пр}} (\text{объект1} - \text{объект2}) + \delta_{\text{с}}}{0,6}, \quad (3.14)$$

где $\delta_{\text{пр.шп.}}$ - погрешность приспособления для сборки шпангоута;
 $C_{\text{кон}} (\text{пр.шп.} - \text{дет.шп.})$ - погрешность увязки контуров приспособления для сборки шпангоута и устанавливаемой в нем детали (например, профиля) шпангоута;
 $C_{\text{пр}} (\text{объект1} - \text{объект2})$ - погрешность взаимной увязки между стапелем сборки фюзеляжа и приспособлением для сборки шпангоута.

3.4.Последовательность выполнения расчета ожидаемой точности сборки

При выполнении сборочных работ, когда необходимо соединить, например, детали А и Б, первостепенное значение приобретает не столько точность их размеров, сколько величина рассогласования этих размеров или, как говорят, степень их увязки.

Так, если точность изготовления двух элементов А и Б, соединяемых между собой в узел, характеризуется их δ_A погрешностями изготовления и δ_B , равными $\delta_A = A_D - A_N$; $\delta_B = B_D - B_N$, разности между их действительными (A_D , B_D) и номинальными (A_N , B_N) :

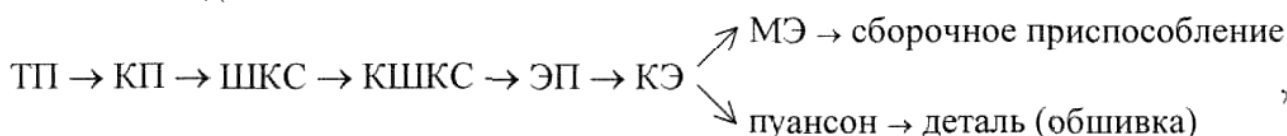
то погрешность их увязки $C_{A \cdot B}$ характеризуется разностью погрешностей их

изготовления : $C_{A-B} = \delta_A - \delta_A.$

Для уменьшения погрешности увязки в самолетостроении широко применяется принцип связанного изготовления самолетных деталей между собой, а также этих деталей с технологической оснасткой. Это означает, что, начиная с первоисточника, на определенных (обычно начальных) этапах изготовления происходит одинаковое накопление погрешностей для этих элементов, что не вызывает погрешности их увязки.

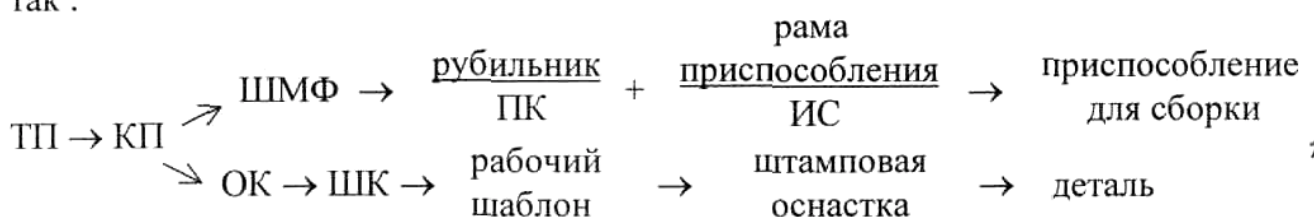
Общее же число этапов изготовления элементов и их характер зависят от принятой технологической последовательности, которая записывается в форме так называемой структурной схемы увязки технологической оснастки [2,11].

Например, для эталонно-шаблонного метода увязки оснастки структурная схема выглядит :



где этапы $\text{ТП} \rightarrow \text{КП} \rightarrow \text{ШКС} \rightarrow \text{КШКС} \rightarrow \text{ЭП} \rightarrow \text{КЭ}$ являются связанными для разных элементов.

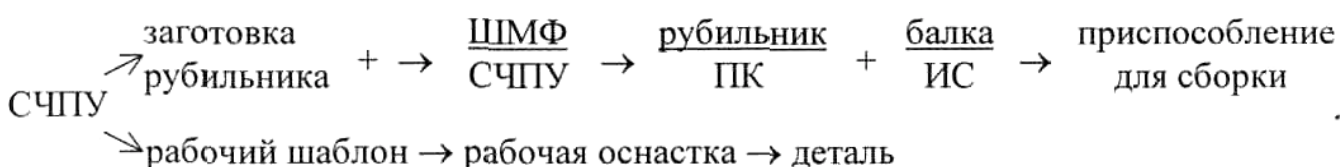
Для координатно-шаблонного метода увязки структурная схема запишется так :



где этапы $\frac{\text{рубильник}}{\text{ПК}} + \frac{\text{приспособления}}{\text{ИС}}$ отражают изготовление частей рамы

сборочной оснастки соответственно на плаз-кондукторе (ПК) и инструментальном стенде (ИС), погрешности которых складываются (по Гауссу) в погрешность изготовленного сборочного приспособления.

Для бесплазового метода увязки структурная схема будет выглядеть :



Из структурной схемы следует, что для определения погрешности изготовления детали или приспособления необходимо учитывать (суммировать по методу Гаусса) погрешности на связанных этапах с погрешностями несвязанных этапов соответствующей ветви структурной схемы. Например, при эталонно-

[illegible]

Далее вычисляются и вносятся в таблицу $\Delta_i \cdot \xi_i$, $\xi_i \cdot \delta_i \cdot a_i$, $\xi_i^2 \cdot \delta_i^2 \cdot K_i^2$ величины, являющиеся составными частями формул (3.5) и (3.6).

г) В зависимости от выбранного метода базирования вычисляются погрешность исходного элемента (базовой детали или сборочного приспособления), погрешность увязки и по соответствующей формуле (см. п. 3.3) ожидаемая погрешность сборки.

Так, например, при базировании от обшивки для формулы (3.9):

погрешность сборочного приспособления будет $\delta_{np} = \Delta_{\Sigma np} \pm \delta_{\Sigma np}$,

составлять

$\Delta_{\Sigma np}$ где - координата центра группирования погрешности приспособления

$\delta_{\Sigma np}$ и

половина поля погрешности (допуска) приспособления. Их следует вычислить по

формулам (3.5) и (3.6), в которые в качестве суммируемых $\Delta_i \cdot \xi_i$, $\xi_i^2 \cdot \delta_i^2 \cdot K_i^2$ компонентов

$\xi_i \cdot \delta_i \cdot a_i$, $\xi_i^2 \cdot \delta_i^2 \cdot K_i^2$ необходимо из таблицы 7 взять величины для этапов, участвующих в формировании погрешности приспособления. Например, для

эталонно-шаблонного метода - по этапам ТП -> КП -> ШКС -> КШКС -> ЭП -> КЭ -> МЭ

—> приспособление; погрешность взаимной увязки контуров приспособления и детали будет

где величины $\Delta_{\Sigma кон}$ и рассчитываются по формулам (3.5) и (3.6) для несвязанных этапов по обоим ветвям структурной схемы. Так, при эталонно-шаблонном методе для этапов КЭ —> пуансон —> деталь + КЭ -> МЭ -> сборочное приспособление погрешность обшивки следует брать из сортамента на применяемый материал.

из сортамента на применяемый материал.

где величины $\Delta_{\Sigma кон}$ и рассчитываются по формулам (3.5) и (3.6) для несвязанных этапов по обоим ветвям структурной схемы. Так, при эталонно-шаблонном методе для этапов КЭ —> пуансон —> деталь + КЭ -> МЭ -> сборочное приспособление погрешность обшивки следует брать из сортамента на применяемый материал.

где величины $\Delta_{\Sigma кон}$ и рассчитываются по формулам (3.5) и (3.6) для несвязанных этапов по обоим ветвям структурной схемы. Так, при эталонно-шаблонном методе для этапов КЭ —> пуансон —> деталь + КЭ -> МЭ -> сборочное приспособление погрешность обшивки следует брать из сортамента на применяемый материал.

где величины $\Delta_{\Sigma кон}$ и рассчитываются по формулам (3.5) и (3.6) для несвязанных этапов по обоим ветвям структурной схемы. Так, при эталонно-шаблонном методе для этапов КЭ —> пуансон —> деталь + КЭ -> МЭ -> сборочное приспособление погрешность обшивки следует брать из сортамента на применяемый материал.

3.5.Примеры расчета точности сборки

Задача.

Требуется рассчитать ожидаемую точность сборки фюзеляжа, при условии, что заданный по ТУ допуск на отклонение его от теоретического контура

=

=

±2 мм.

$\delta_{фюз. ТУ}$

Дано . Фюзеляж собирается в стапеле сборкой от каркаса. В качестве каркаса используются шпангоуты, устанавливаемые в стапель с базой

на фиксаторы КФО. Обшивка - лист толщиной $S = 2 \pm 0,1$ мм. В свою очередь шпангоуты изготавливаются в сборочных приспособлениях (далее - приспособлениях) с базой по наружному контуру и с фиксацией по КФО.

Стапель представляет собой единую балку с залитыми на инструментальном стенде фиксаторами КФО. Приспособление для сборки шпангоута состоит из каркаса с фиксаторами КФО, изготовленного на ИС, и съемных рубильников, рабочая поверхность которых выполнена по наружному контуру шпангоута.

Решение .

Расчет выполним по следующей схеме :

вначале определим, с каким допуском должен быть изготовлен шпангоут в приспособлении, чтобы он, будучи установленным в стапель и собранным с об-

шивкой, обеспечил бы погрешность фюзеляжа не более допуска, заданного по ТУ, т.е. ± 2 мм;

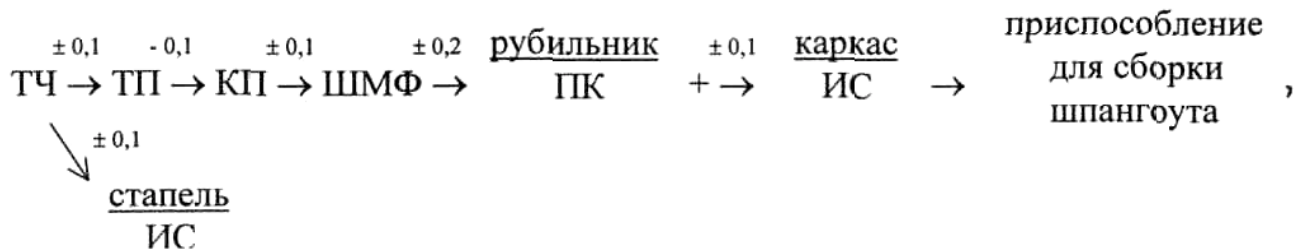
далее выполним расчет ожидаемой точности сборки шпангоута в приспособлении и сравним ее с рассчитанным выше допуском.

Исходя из обеспечения заданного допуска на фюзеляж, допуск на наружный контур шпангоута должен составить

$$\delta_{шп.ТУ} = \delta_{фюз.ТУ} - C_{пр(фюз-шп)} - \delta_s,$$

т.е. должен быть уменьшен на величину погрешности толщины обшивки δ_s и погрешность увязки стапеля и приспособления $C_{пр(фюз-шп)}$.

Для расчета $C_{пр(фюз-шп)} = \Delta_{пр(фюз-шп)}^{\pm \delta_{пр(фюз-шп)}}$ составляем структурную схему увязки оснастки по плазово-инструментальному методу :



где записи $\frac{\text{рубильник}}{\text{ПК}}$; $\frac{\text{каркас}}{\text{ИС}}$; $\frac{\text{стапель}}{\text{ИС}}$ означают, что упомянутые элементы изготовлены на соответствующем оборудовании.

По таблице 5 определяем погрешности на всех этапах изготовления стапеля и приспособления, вычисляем величины $\Delta_i \cdot \xi_i$, $\xi_i \cdot \delta_i \cdot a_i$, $\xi_i^2 \cdot \delta_i^2 \cdot K_i^2$ и вносим эту информацию в таблицу 8.

Таблица 8

| Этапы | Отклонения | δ_i , мм | ξ_i | Δ_i , мм | a_i | K_i | $\xi_i \cdot \Delta_i$, мм | $\xi_i \cdot \delta_i \cdot a_i$, мм | $\xi_i^2 \cdot \delta_i^2 \cdot K_i^2$, мм ² |
|-----------------------------|------------|-----------------|---------|-----------------|-------|-------|-----------------------------|---------------------------------------|--|
| ТЧ-ТП | $\pm 0,1$ | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | $1 \cdot 10^{-2}$ |
| ТП-КП | -0,1;0 | 0,05 | 1 | -0,05 | 0 | 1 | -0,05 | 0 | $0,25 \cdot 10^{-2}$ |
| КП-ШМФ | 0;+0,1 | 0,05 | 1 | 0,05 | 0,5 | 1,4 | 0,05 | 0,025 | $0,46 \cdot 10^{-2}$ |
| ШМФ-рубильник | -0,2;+0,2 | 0,2 | 1 | 0 | 0,5 | 1,4 | 0 | 0,1 | $7,84 \cdot 10^{-2}$ |
| ИС→каркас | -0,1;+0,1 | 0,1 | 1 | 0 | 0,5 | 1,4 | 0 | 0,05 | $1,96 \cdot 10^{-2}$ |
| ТЧ→ <u>стапель</u> ИС | -0,1;+0,1 | 0,1 | 1 | 0 | 0,5 | 1,4 | 0 | 0,05 | $1,96 \cdot 10^{-2}$ |

Для определения погрешности увязки берем все несвязанные этапы.

Координату середины поля погрешности увязки оснастки вычислим по формуле (3.5):

$$\Delta_{пр(фюз-шп)} = -0,05 + 0,05 + 0,025 + 0,1 + 0,05 + 0,05 = 0,225 \text{ мм.}$$

Половину поля погрешности увязки оснастки определим по формуле (3.6) :

$$\delta_{пр(фюз-шп)} = \pm \sqrt{(1 + 0,25 + 0,46 + 7,84 + 1,96 + 1,96) \cdot 10^{-2}} = \pm 0,367 \text{ мм.}$$

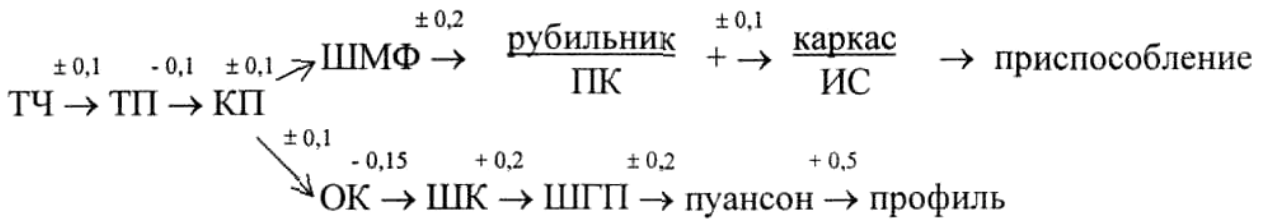
Таким образом, назначенный допуск на сборку шпангоута составит :

$$\delta_{шп.гу} = \pm 2 - (0,225^{+0,367}) - (\pm 0,1) = \begin{matrix} +1,308 \\ -1,758 \end{matrix} \text{ мм.}$$

Ожидаемую точность сборки шпангоута, собираемого в приспособлении с базой от наружного контура («от обшивки»), определяем по формуле (3.9) :

$$\delta_{шп.ож.} = \frac{\delta_{пр} + C_{кон(пр-дет)} \cdot K_{приж.}}{0,6}.$$

Для расчета $C_{кон(пр-дет)} = \Delta_{кон(пр-дет)}^{\pm \delta_{кон(пр-дет)}}$ составляем структурную схему увязки оснастки, где в верхней ветви отразим этапы изготовления приспособления, а в нижней – профиля шпангоута :



По таблице 5 определим погрешности на вновь появившихся этапах, сведя всю информацию в таблицу (можно продолжить первую таблицу)

Продолжение табл. 8

| Этапы | Отклонения | δ_i , мм | ξ_i | Δ_i , мм | a_i | K_i | $\xi_i \cdot \Delta_i$, мм | $\xi_i \cdot \delta_i \cdot a_i$, мм | $\xi_i^2 \cdot \delta_i^2 \cdot K_i^2$, мм ² |
|-----------------|------------|--------------------|---------|--------------------|-------|-------|--------------------------------|--|---|
| КП-ОК | -0,1;+0,1 | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | $1 \cdot 10^{-2}$ |
| ОК-ШК | -0,15;0 | 0,075 | 1 | -0,075 | 0,5 | 1,4 | -0,075 | 0,0375 | $1,1 \cdot 10^{-2}$ |
| ШК-ШГП | 0;+0,2 | 0,1 | 1 | 0,1 | 0,5 | 1,4 | 0,1 | 0,05 | $1,96 \cdot 10^{-2}$ |
| ШГП-пуансон | -0,2;+0,2 | 0,2 | 1 | 0 | 0,5 | 1,4 | 0 | 0,1 | $7,84 \cdot 10^{-2}$ |
| пуансон-профиль | -0;+0,5 | 0,25 | 1 | 0,25 | 0,2 | 1,2 | 0,25 | 0,05 | $9 \cdot 10^{-2}$ |

Для определения погрешности сборочного приспособления δ_{np} берем все этапы его изготовления. Тогда координата середины поля погрешности приспособления, вычисленная по формуле (3.5), составит :

$$\Delta_{np} = -0,05 + 0,05 + 0,025 + 0,1 + 0,05 = +0,175 \text{ мм}.$$

Половина $\delta_{np} = \pm \sqrt{(1 + 0,25 + 0,46 + 7,84 + 1,96) \cdot 10^{-2}} = \pm 0,339 \text{ мм}$. по формуле (3.6) составит :

Таким образом, погрешность изготовления приспособления будет :

$$\delta_{np} = +0,175^{+0,339} \text{ мм}.$$

Далее рассчитаем погрешность увязки контуров приспособления и профиля шпангоута, для чего возьмем все несвязанные этапы по структурной схеме. Координата середины поля погрешности увязки контуров элементов по формуле (3.5) будет:

$$\begin{aligned} \Delta_{кон(пр-дет)} &= 0,05 + 0,025 + 0,1 + 0,05 - 0,075 + 0,1 + 0,25 + 0,0375 + 0,05 + 0,1 + 0,05 \\ &= +0,737, \text{ а половина поля погрешности увязки контуров по формуле (3.6) составит} \\ &: \end{aligned}$$

$$\delta_{кон(пр-дет)} = \pm \sqrt{(0,46 + 7,84 + 1,96 + 1 + 1,1 + 1,96 + 7,84 + 9) \cdot 10^{-2}} = \pm 0,558 \text{ мм}.$$

Таким образом, погрешность увязки контуров приспособления и профиля шпангоута будет равна:

$$C_{кон(пр-дет)} = +0,737^{+0,558} \text{ мм}.$$

Подставляя найденные значения погрешностей в формулу (3.9) и приняв коэффициент прижима $K_{приж}$ равным 0.1 (профиль шпангоута притянем восемью прижимами к рубильнику приспособления), получим искомую ожидаемую погрешность сборки шпангоута:

$$\delta_{\text{ит. о.ж.}} = \frac{+0,175^{\pm 0,339} + (0,737^{\pm 0,558}) \cdot 0,1}{0,6} = \begin{matrix} +1,071 \\ -0,245 \end{matrix}$$

Сравнивая ожидаемую погрешность с назначенным допуском на сборку шпангоута, приходим к выводу о правильности принятых решений по построению технологического процесса, применяемой оснастки и способам ее увязки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технология сборки самолетов : Методические указания по проведению практических занятий / Сост. И.М.Колганов. - Ульяновск : УлГТУ, 1995. - 32 с.
2. Горячев А.С., Белоглазов И.М., Лысенко Д.Н. Сборка клепаных узлов и агрегатов летательных аппаратов : Учебное пособие . - Куйбышев : КуАИ , 1986.-72 с.
3. Технология сборки самолетов : Методические указания по проведению практических занятий. Часть 2. / Сост. И.М.Колганов. - Ульяновск : УлГТУ, 1997.-48 с.
4. Бойцов В.В., Ганиханов Ш.Ф., Крысин В.Н. Сборка агрегатов самолета : Учебное пособие для студентов вузов.-М.: Машиностроение, 1988. - 152 с.
5. Технология самолетостроения / А.Л.Абибов, Н.М.Бирюков, В.В.Бойцов и др., под ред. А.Л.Абибова.-М.: Машиностроение, 1982. - 551 с.
6. Технологическое обеспечение сборочных производств : Методические указания по выполнению курсового проекта / Сост. И.М.Колганов. - Ульяновск : УлГТУ, 1997.-24 с.
7. Колганов И.М. Сборочные работы при производстве широкофюзеляжных самолетов. Технологические процессы, выбор варианта : Учебное пособие для студентов вузов , обучающихся по спец. «Самолето- и вертолетостроение» . -Ульяновск : УлГТУ, 1998. - 96 с.
8. Методическое руководство по расчету ступеней на жесткость для курсового и дипломного проектирования по технологии производства летательных аппаратов / Сост. Е.Я.Блинов. - Москва : МАТИ, 1969. - 60 с.
9. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. Киев: Наукова думка , 1975. - 704 с.
- Ю.Анурьев В.И. Справочник конструктора - машиностроителя .В 3-х тт.Т.1. -М.: Машиностроение, 1978. - 728 с.
11. Халиулин В.И. Расчет ожидаемой точности сборки, узлов и отсеков : Учебное пособие.- Казань: КГТУ, 1993. - 64 с.