

Министерство образования Иркутской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Иркутской области
«Иркутский авиационный техникум»
(ГБПОУИО «ИАТ»)

РАССМОТРЕНО
На заседании ВЦК С
Протокол № 2
от «15» октября 2025 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

**ПМ.03 Техническая поддержка процесса проектирования
механических конструкций, узлов и агрегатов систем
летательных аппаратов**

**МДК 03.02 Проектирование узлов, агрегатов и систем
летательных аппаратов, разработка конструкторской
документации**

24.02.01 Производство летательных аппаратов

Иркутск 2025

Разработчик:

преподаватель ГБПОУИО «Иркутский авиационный техникум»

Захаров Роман Николаевич

преподаватель ГБПОУИО «Иркутский авиационный техникум»

Гольдварг Евгений Сергеевич

Содержание

Введение.....	4
1. Общие положения	5
1.1 Цель курсового проекта.....	5
1.2 Задание на курсовой проект	5
1.3 Содержание и объем курсового проекта	5
1.4 Порядок выполнения и защиты курсового проекта	7
2 Рекомендации по выполнению разделов проекта	8
2.1 Титульный лист	8
2.2 Задание на проект.....	8
2.3 Содержание.....	8
2.4 Введение курсового проекта	8
2.5 Описание конструкции и конструкторской документации	8
2.6 Расчет силовых элементов конструкции сборочного узла на статические нагрузки.....	26
2.7 Геометрическая увязка конструкции узла	16
2.8 Заключение	25
Перечень используемых сокращений	51
Список используемых источников.....	54
Приложение 1	55
Приложение 2	56
Приложение 3	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение 4	Ошибка! Закладка не определена.

Введение

Современный специалист авиастроения должен быть широкопрофильным специалистом, который разбирается в разных аспектах производственных работ. Понимание устройства самолета, принципа его работы и взаимной работы всех компонентов ложатся в основу любой должности на самолетостроительном производстве.

Самолёт насчитывает большое количество различных деталей сложной геометрической формы и больших габаритных размеров. Изготовление таких деталей весьма трудоёмкий процесс. Новые методы увязки с применением независимых методов проектирования, разработки документации и изготовления всех элементов самолета, позволяет снизить трудоёмкость производства. Современные средства 3D моделирования открывают новые возможности как для конструкторских подразделений производства, так и технологических.

В качестве задания на курсовой проект, каждому студенту предлагается тема: «Разработка и проектирование конструкции авиационного узла». Объектами сборки являются сборочные узлы, определяемые преподавателем индивидуально для каждого студента.

При разработке курсового проекта ставятся такие задачи, как:

- дать описание конструкции сборочного узла;
- провести анализ конструктивно-технологических характеристик узла;
- произвести проектировочный расчет конструкции;
- определить виды соединений и их параметры;
- обеспечить геометрическую и конструктивную увязку компонентов конструкции;
- разработать чертежно-графическую документацию на узел.

В ходе выполнения курсового проекта применяются навыки работы в современных САПР, на примере узла в дальнейшем будут изучаются процессы проектирования сборочного приспособления и технологического процесса сборки для сборочной единицы.

1. Общие положения

1.1 Цель курсового проекта

Целью курсового проекта является формирование общих и профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС специальности, формирование практического опыта, знаний, и умений обучающихся, приобретение студентами навыков разработки конструкций авиационных узлов и агрегатов, производства элементов конструкции планера летательного аппарата.

1.2 Задание на курсовой проект

В качестве задания на курсовой проект каждому студенту предлагается узел конструкции летательного аппарата. Узлы студенты могут подбирать из предложенных преподавателем вариантов.

При выборе задания необходимо учитывать следующие требования:

- узел должен содержать не менее 5 и не более 10 деталей различного наименования (без учета повторяемости деталей и крепежных элементов);
- узел должен содержать детали, выходящие на аэродинамический обвод или иметь контуры ему эквидистантные;
- одна деталь, из листового материала, обязательно должна иметь конструктивные элементы, такие как: борт, отбортовки (тип 1,2,3), подсечки, рифты жесткости, вырезы под стрингеры и т.д. (количество и тип конструктивных элементов не регламентируется);
- как минимум одна из деталей обязательно должна быть из прессованного профиля, должна выходить на теоретический контур, иметь кривизну и как минимум подсечку;
- остальные детали, должны обеспечивать жесткость и прочность узла и выполняются в общей конструктивно-силовой схеме узла.

В курсовом проекте для заданного узла необходимо:

- выполнить конструктивно-технологический анализ узла;
- разработать схему нагружения конструкции;
- рассчитать основные элементы конструкции узла на прочность;
- выполнить расчет и подбор крепежных элементов конструкции узла;
- провести анализ конструкции;
- обеспечить геометрическую увязку компонентов узла;
- разработать сборочный чертеж узла (формат А0 или А1) и спецификацию к нему;
- разработать чертежи трёх деталей конструкции узла (формат А4, А3, А2 или дополнительные).

1.3 Содержание и объем курсового проекта

Содержание курсового проекта выполняется в соответствии с локально-нормативным актом «Об организации выполнения и защиты курсовой работы (проекта)».

Курсовой проект состоит из пояснительной записки в бумажном виде и чертежно-графической части, выполненной в электронном виде. Также все материалы проекта предоставляются руководителю в электронном виде для переноса на электронный сетевой ресурс техникума.

Пояснительная записка объемом 15-25 страниц формата А4 должна содержать:

Титульный лист

Задание на курсовое проектирование

Лист «Содержание»

Введение

1 Разработка конструкции узла и конструкторской документации

1.1 Конструктивно-технологическая характеристика сборочного узла

1.2 Описание конструкции сборочного узла

1.3 Технические требования на сборку узла

2 Геометрическая увязка конструкции узла

2.1 Анализ конструктивных параметров сборочного узла

2.2 Анализ технологичности сборочного узла

2.3 Составление схемы увязки и обеспечения взаимозаменяемости конструкции узла на производстве

Заключение

Перечень используемых сокращений

Список используемых источников

Приложения

Пояснительная записка должна содержать необходимые обоснования, пояснения и иллюстрации. В конце каждого раздела необходимо сформулировать выводы. Не следует приводить длинные выписки из учебников и технической литературы. Наиболее ценным являются собственные мысли, решения и выводы. Они повышают качество проекта и влияют на итоговую оценку.

Записка должна оформляться в соответствии с требованиями ГБПОУИО «ИАТ» согласно методическим указаниям по оформлению курсового и дипломного проектов для специальности 24.02.01 Производство летательных аппаратов, а также ГОСТ 7.32-2017 и ГОСТ 2.105-2019. Страницы текста и включенные в ПЗ иллюстрации и таблицы должны соответствовать формату А4 по ГОСТ 9327-60.

Графическая часть курсового проекта включает:

- сборочный чертеж узла (формат А0 или А1) с оформленной к нему спецификацией (формат А4);
- чертеж трёх деталей сборочного узла (формат А4, А3, А2 или дополнительные).

Схема членения узла (в изометрической проекции), общие виды деталей оформляются в виде технических рисунков и включаются в пояснительную записку.

Все графические материалы должны оформляться в соответствии с требованиями ГОСТ ЕСКД.

Рекомендуется дополнительно выполнять узел планера в виде компьютерной трехмерной твердотельной модели с помощью САПР.

Пример оформления курсовой работы, находится у руководителя курсового проекта.

1.4 Порядок выполнения и защиты курсового проекта

Проект считается законченным, если выполнены все разделы в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Готовый проект защищается перед аудиторией (студентами группы и преподавателем). На защите проекта обучающийся выступает с кратким сообщением по проекту. При этом в докладе обучающийся кратко излагает содержание работы, используя заранее подготовленный текст или план-конспект, а также наглядные пособия (чертежи). Выступление должно содержать общую характеристику работы, цели, задачи, объект, методы исследования, полученные результаты, обоснованные выводы, теоретическую и практическую значимость работы.

Курсовые проекты в электронном виде вместе с чертежами и ПЗ сдаются руководителю. Руководитель помещает данные файлы на диск R через председателя ВЦК. Структура содержания папки для передачи руководителю изображена на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Структура содержания папки

2 Рекомендации по выполнению разделов проекта

2.1 Титульный лист

Титульный лист оформляется по образцу из приложения А. Должен содержать шифр, наименование темы по приказу, фамилии и инициалы руководителя и студента, разработавшего проект. Пример титульного листа – Приложение 1.

2.2 Задание на проект

Преподаватель (руководитель курсового проекта), на основании исходных материалов, разрабатывает и выдает обучающемуся индивидуальное задание на курсовой проект, которое содержит следующие данные:

- исходные данные (условные схемы и рекомендации по выполнению проекта);
- общие требования при выполнении курсовой работы;
- перечень материалов, представляемых к защите;
- график выполнения курсового проекта.

Пример листа задания – Приложение 2

2.3 Содержание

Лист содержания оформляется в соответствии с ГОСТ 2.104 форма 2. Содержит в себе структуру курсового проекта с наименованиями разделов и подразделов с номерами страниц.

2.4 Введение курсового проекта

Раскрывается актуальность и значение темы, формулируются цели и задачи работы. Качественное введение на курсовой проект должно занимать не менее одной страницы. Введение рекомендуется писать поэтапно в процессе выполнения работы, описывая проблемы и решения, выявленные в ходе работы. Лист введения, как и последующие листы пояснительной записки, оформляются в соответствии с ГОСТ 2.104 форма 2а.

2.5 Разработка конструкции узла и конструкторской документации

В данном разделе будет описана конструкция разрабатываемого узла, виды соединений деталей, описание деталей, и технические требования на сборку конструкции.

Также в начале раздела должны быть указаны исходные данные. К ним относятся:

- исходные данные из листа задания;

- расположение проектируемого узла на летательном аппарате, как показано в примере.

Пример:

Разработка конструкции выполняется с помощью систем автоматизированного проектирования Siemens «NX». Конструктивная и геометрическая увязка деталей узла «Элерон самолёта S-21A (правый борт)» выполняется на основе расположения узла в общей ТЭМ летательного аппарата и КСС агрегата. В данной конструкции КСС определяется системой базовых плоскостей крыла.

Положение узла выделено на рисунке X.X.

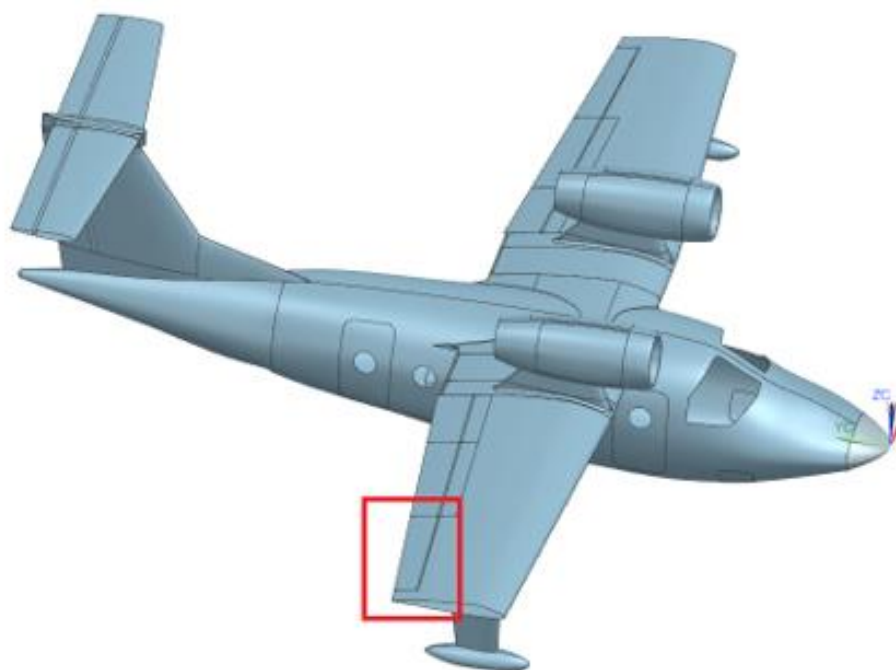


Рисунок X.X – Положение узла в системе самолета

- описание ТЭМ и КСС с наглядными изображениями, как показано в примере.

Пример:

Для разработки конструкции элерона самолета S-21A с общей ТЭМ самолета будут выделены отдельно ТЭМ узла и КСС отклоняемого носка. ТЭМ будет являться основой для получения теоретического обвода узла, от которого будут разрабатываться все элементы конструкции и производится геометрическая увязка контуров деталей. КСС содержит в себе конструктивные базы всех элементов конструкции в виде их плоскостей, которые расположены в пространстве ТЭМ и определяют точное положение детали или деталей.

На рисунке 1.2 приведен ТЭМ элерона самолета S-21A.

На рисунке 1.3 показан ТЭМ с КСС элерона самолета S-21A.

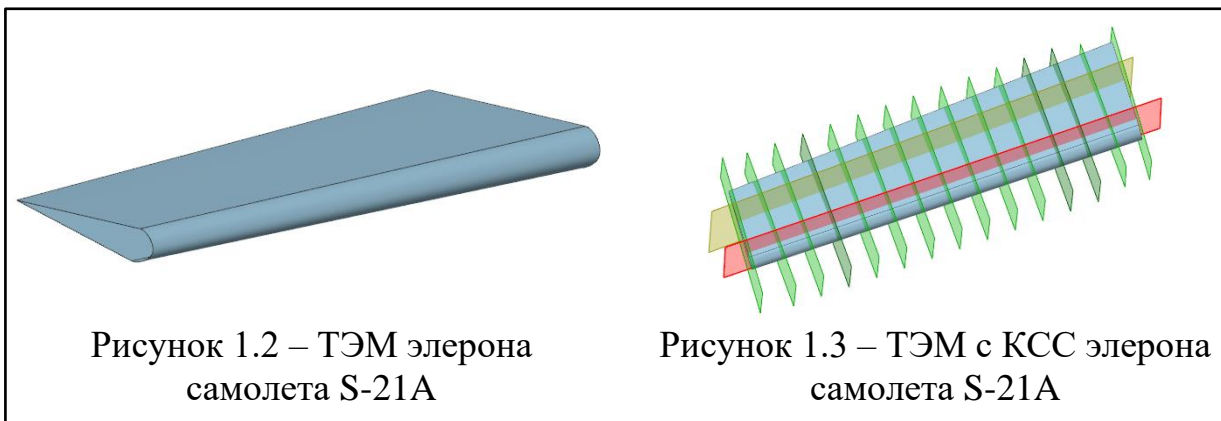


Рисунок 1.2 – ТЭМ элерона самолета S-21A

Рисунок 1.3 – ТЭМ с КСС элерона самолета S-21A

2.5.1 Конструктивно-технологическая характеристика сборочного узла

Данный этап содержит описание конструкции проектируемой части планера летательного аппарата и рекомендуется выполнять по следующему плану:

а) Общие сведения об узле:

- наименование и обозначение сборочной единицы;
- расположение и назначение данной конструкции;
- габаритные размеры узла и масса;
- принцип работы;
- общая форма узла;
- состав конструктивных элементов;
- наличие и количество узлов стыка, навески и т.д.;
- состав и количество деталей конструкции.

Пример:

Узел «Элерон самолёта S-21A (правый борт)», с номером сборочной единицы КП.24.02.01.XX.XXX.XX.100.СБ, располагается в концевой части крыла самолета между нервюрами 18 и 26. Относится к органам управления самолёта. Предназначен для управления углом крена самолёта, при этом элероны отклоняются дифференциально, то есть, в противоположные стороны: для крена самолёта вправо правый элерон поворачивается вверх, а левый – вниз и наоборот. Принцип действия элеронов состоит в том, что у части крыла, расположенной перед элероном, поднятым вверх, подъёмная сила уменьшается, а у части крыла перед опущенным элероном подъёмная сила увеличивается; создаётся момент силы, изменяющий скорость вращения самолёта вокруг оси, близкой к продольной оси самолёта. В нейтральном положении является продолжением крыла с его обычным профилем. Данная конструкция имеет 1 фиксированный кронштейн крепления к крылу, 1 шарнирно-плавающий кронштейн для компенсаций разницы изгиба крыла и элерона под нагрузками и 1 кронштейн крепления тяги от крыла.

Габаритные размеры элерона:

- длина xxx мм;
- ширина xxx мм;
- толщина (высота) xxx мм.

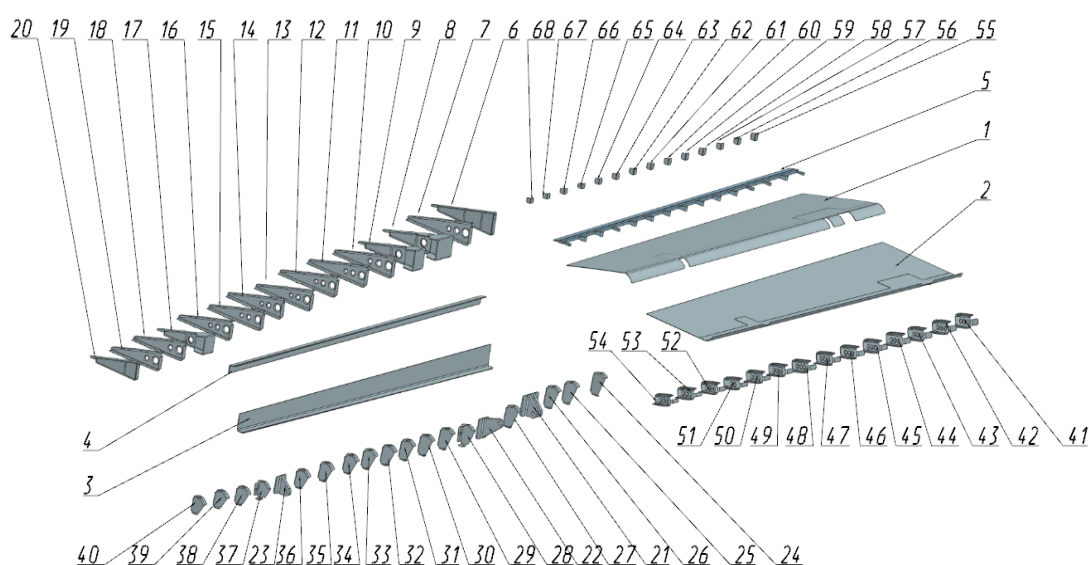
Масса узла: xx,x кг.

Общая форма узла – объемная, конического обвода с криволинейным контуром по обводообразующим поперечным элементам. Расположение деталей узла задается относительно конструктивных баз, которыми являются: теоретический обвод элерона, плоскость строительной горизонтали фюзеляжа, плоскость симметрии самолета, плоскости лонжерона, нервюр, стенки, ось вращения и ось крепления элерона.

б) схему членения узла на детали, выполненное графически изображение (в изометрической проекции) с разнесением всех элементов конструкции узла для наглядности, как в примере.

Пример:

Конструктивно-технологическое членение узла представлено на рисунке 1.4.



- 1 – Обшивка верх; 2 – Обшивка низ; 3 – Стенка лонжерона; 4 – Полка лонжерона; 5 – Концевой нож; 6 – Хвостовая часть нервюры 1; 7 – Хвостовая часть нервюры 2; 8 – Хвостовая часть нервюры 3; 9 – Хвостовая часть нервюры 4; 10 – Хвостовая часть нервюры 5; 11 – Хвостовая часть нервюры 6; 12 – Хвостовая часть нервюры 7; 13 – Хвостовая часть нервюры 8; 14 – Хвостовая часть нервюры 9; 15 – Хвостовая часть нервюры 10; 16 – Хвостовая часть нервюры 11; 17 – Хвостовая часть нервюры 12; 18 – Хвостовая часть нервюры 13; 19 – Хвостовая часть нервюры 14; 20 – Хвостовая часть нервюры 15; 21 – Узел навески 1; 22 – Узел тяги; 23 – Узел навески 2; 24-40 – Диафрагма нервюры; 41-53 – Стенка 1; 54-67 – Стойка 1-14.

Рисунок 1.4 – Конструктивно-технологическое членение узла

Анализ соединений элементов узла (конструктивно-технологическое описание каждого соединения), оформляется в таблице, как показано в примере ниже.

Пример:

Анализ соединения элементов узла с конструктивно-технологической характеристикой соединений выполняется в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Конструктивно-технологическая характеристика соединений

Крепёжный элемент	Пакет	Толщина пакета	Характеристика шва	Доступ к шву
1	3	4	5	6
Соединения с обшивкой поз. 1 на заклепки				
Заклепка 3,5-7- Ан.Окс-ОСТ 1 34098-80	Хвостовая часть нервюры поз. 6	2,7	Прямолинейный	Свободный
Заклепка 4-12 ОСТ 1 34098-80	Полка лонжерона поз. 6 и нервюры поз. 9, 11-15, 17	6,5	Прямолинейный	Свободный
	Нервюра 10, 16	6,2	Прямолинейный	Свободный
			Круговой	Односторонний
			Криволинейный	Ограниченный
Болтовые соединения конструкции				
Болт 4 – 12 ОСТ 1 31137-80, Гайка 4 ОСТ 1 33055-80, Шайба 5–10–1,5 ОСТ 1 34509-80	Стенка лонжерона поз. 5 с узлами навески поз. 19, 25	5	Точечный	Свободный

В столбце «Крепёжный элемент» указывается конкретный крепёжный элемент из ГОСТ, ОСТ или иного документа, соответствующий расчетам. Длина заклепки определяется по ОСТ 1 34102-80 под конкретную толщину пакета.

В столбце «Пакет» указывается наименование и позиция по спецификации соединяемых деталей в одном пакете. Для деталей, характеризующихся одной и той же деталью в пакете, удобнее именно эту деталь вынести в отдельную графу.

В столбце «Толщина пакета» указывается толщина пакета соединяемых деталей одним крепёжным элементом.

В столбце «Характеристика шва» указывается характеристика шва исходя из следующих вариантов:

- круговой – это по периметру люков, окантовок, иллюминаторов, то есть по кругу;
- прямолинейный – это по прямой линии в плоскости, либо почти плоской поверхности (по стрингеру, лонжерону);
- точечный – по отдельным точкам (не по шву);
- криволинейный – все остальные.

В столбце «Доступ к шву» указывается доступ к данному виду крепежа во время его установки. В доступе к шву указывает один из следующих вариантов:

- свободный или двухсторонний доступ – позволяет устанавливать крепежные элементы без каких-либо ограничений;
- ограниченный доступ – подразумевает ограничения для подвода инструмента;
- односторонний доступ – подразумевает полное отсутствие доступа, с одной стороны.

В случае, если одни и те же детали имеют разные толщины пакетов из-за сменной толщины, следует разделить их в одной графе на несколько крепежей и толщин пакетов.

2.5.2 Описание конструкции сборочного узла

Данная часть курсового проекта должна содержать описание всех групп деталей с приложенными к ним изображениями. В описании должны содержаться такие данные как:

- наименование и назначение группы деталей;
- вид заготовки и её материал.

Данный раздел оформляется как показано в примере.

Пример:

Хвостовые диафрагмы нервюр являются поперечными элементами конструкции и предназначены для сохранения формы профиля элерона, а также передачи воздушных нагрузок с обшивок на продольные элементы конструкции. Изготовлены из листа алюминиевого сплава 1163АМ 1,2 ОСТ 1 90246-77 методом раскроя листовой заготовки фрезерованием на станке с ЧПУ и гибки эластичной средой по формблоку в два перехода. После формообразования и контроля детали подвергают термической обработке: закалка с естественным старением. На упрочнённые детали наносят покрытие: плёнка анодного оксидирования и слой грунтовки ЭП-0215.

Внешний вид хвостовой диафрагмы нервюры приведен на рисунке X.X.

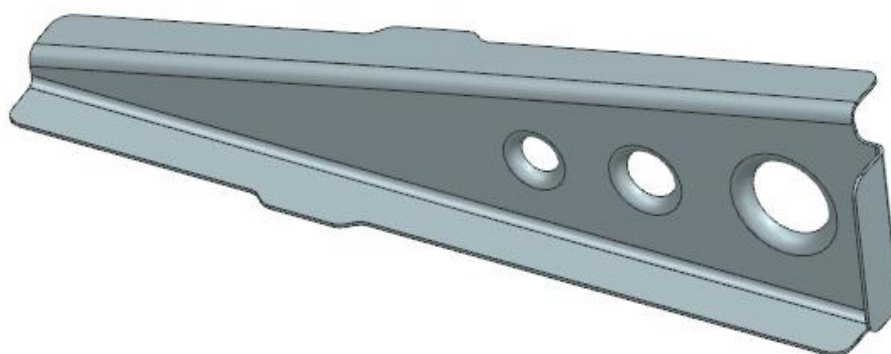


Рисунок 1.4 – Внешний вид обычной хвостовой части нервюры элерона самолёта S-21А

2.5.3 Технические требования на сборку узла

Сборка узла должна обеспечивать взаимную стыковку с другими узлами и должна удовлетворять требованиям чертежа, инструкций и технических условий.

В технических условиях необходимо указать:

- допуски на отклонение от аэродинамического контура теоретического (под каждый разрабатываемый самолет будут разрабатываться отдельно);
- допуски на отклонение от элементов каркаса планера;
- допуски на отклонение стыков деталей (ОСТ 1 02507-92 для дозвуковых самолетов, ОСТ 1 02581-86 для сверхзвуковых самолетов);
- шаги заклепок в заклепочных швах по ОСТ 1 00016-71;
- неуказанные предельные отклонения размеров, допуски формы и расположения поверхностей – по ОСТ 1 00022-80;
- и т.д.

Для определения величин допускаемых отклонений по аэродинамическому контуру пользоваться таблицей 2.1

Таблица 2.1 – Допускаемые отклонения по элементам самолета

Агрегат	Отклонения, мм
Носовая часть фюзеляжа до начала хорды крыла	$\pm 1,0$
Остальная часть фюзеляжа для крупногабаритных самолетов	$\pm 3,0$
Остальная часть фюзеляжа для средних и небольших самолетов	$\pm 2,0$
Носовая часть крыла до линии фокуса, носовая механизация	$\pm 1,0$
Остальная часть крыла, задняя механизация	$\pm 2,0$
Элероны, руль высоты, руль направления	$\pm 1,5$
Носовая часть стабилизатора	$\pm 1,0$
Остальная часть стабилизатора	$\pm 2,0$
Носовая часть киля	$\pm 1,0$
Остальная часть киля	$\pm 2,0$
Обечайка и входное устройство гондол и мотогондол двигателей	$\pm 1,0$
Носовая часть гондол шасси	$\pm 1,0$
Остальные части гондол и мотогондол	$\pm 2,0$
Канал воздухозаборника	$\pm 0,8$
Носовая часть пилона	$\pm 1,0$
Остальная часть пилона	$\pm 2,0$

Для определения величин допускаемых отклонений по элементам каркаса пользоваться таблицей 2.2

Таблица 2.2 – Допускаемые отклонения по элементам каркаса

Элемент/деталь каркаса	Отклонения по осям/плоскостям, мм
Шпангоуты по цилиндрическому обводу	$\pm 1,0$
Шпангоуты по коническому или двойной кривизны обводам	$\pm 0,5$
Нервюры по цилиндрическому обводу	$\pm 0,8$

Нервюры по коническому или двойной кривизны обводам	±0,5
---	------

Продолжение таблицы 2.2 – Допускаемые отклонения по элементам каркаса

1	2
Прямолинейные стрингеры	±2,0
Криволинейные стрингеры	±1,0
Составные лонжероны	±1,5
Цельно фрезерованные лонжероны	±1,0
Стенки, балки и прочее	±2,0
Оси вращения элементов	±0,1
Оси стыков узлов и агрегатов	±0,2

Технические условия на сборку узла оформить, как указано в примере.

Пример:

1.3 Технические требования на сборку узла

Сборка элерона самолёта S-21А (правый борт) должна обеспечивать взаимную стыковку с другими узлами и должна удовлетворять требованиям чертежа, инструкций и технических условий.

Технические условия на сборку элерона самолёта S-21А имеют следующий вид:

1. Допускаемое отклонение от теоретического контура ±1,5 мм.
2. Допускаемое отклонение по оси лонжерона ±1,5 мм.
3. Допускаемое отклонение по осям нервюр ±0,5 мм.
4. Допускаемое отклонение по оси стенки ±2,0 мм.
5. Допускаемое отклонение по оси вращения ±0,1 мм.
6. Допускаемое отклонение по оси крепления тяги ±0,2 мм.
7. Выступление головок заклепок ±0,1 мм (ОСТ 1 02507-92).
8. Выступление или западание головок болтов для обшивок толщиной 2,0 мм ±0,2 мм (ОСТ 1 02507-92).
9. ...
10. Неуказанные предельные отклонения размеров, допуски формы и расположения поверхностностей – по ОСТ 1 00022-80.
11. Клепку выполнять по ПИ 249-2009.
12. Болтовые соединения по РТМ 1.4.1941-89.
13. Отверстия под болты по ОСТ 1 10569-72 выполнять Н7 с шероховатостью $\sqrt{Ra0,8}$.
14. Крепеж нервюр со стенкой, стойки с нервюрами и стенкой ставить на грунтовке ЭП-0215.
15. Крепеж по поз. 1-6, 20 ставить на герметик У30МЭС-5НТ ТУ 38 1051436-88 по ПИ 1.2.290-85 и ОСТ 1 42315-86.
16. После сборки заклепочные швы, головки болтов, выступающие резьбовые части вместе с гайками покрыть грунтовкой ЭП-0215.470 ОСТ 1 90055-85.

В конце каждого раздела формируется вывод, который полностью отражает достигнутый этап выполнения курсового проекта.

Пример:

Вывод: Для разрабатываемой конструкции составлено описание входящих элементов. На конструкцию заданы технические требования, которые обеспечат

изделие требуемым эксплуатационным качествам совместно с технологическими возможностями.

2.6 Геометрическая увязка конструкции узла

Данный раздел содержит анализ конструктивных элементов, сравнение с аналогом, анализ технологичности и сведения по увязке компонентов конструкции между собой и с технологической оснасткой. Конструктивная увязка предназначена для наложения совместных связей на компоненты конструкции между собой, возможности проводки различных систем самолета и обеспечения доступа к выполнению технологических операций. Основная задача состоит в проработке всех элементов конструкции для соединения между собой.

2.6.1 Анализ конструктивных параметров сборочного узла

Анализ конструктивных параметров необходим для общей конструктивной проработки конструкции. На данном этапе обосновываются все принятые конструктивные решения с точки зрения прочности и технологичности. Для сравнительного анализа будет выполнено соответствие конструктивных параметров первоисточника с исходного самолета и разработанной конструкции.

В первую очередь проводится сравнение спроектированного узла с конструкцией реального самолета. Информация по конструкции реального самолета берется из изображений этого самолета в интернете, его схемам, а также технической информации из открытых источников. Вероятны как упрощения конструкции, так и внесение более сложных, но технологичных элементов. Сравнение оформляется в виде краткого описания изделий и сравнительной таблицы как показано в примере.

В качестве обоснования могут выступать следующие основные причины внесения изменений:

- Переработка конструктивно-силовой схемы конструкции под более оптимальную.
- Изменение сечения деталей и конструктивных элементов с целью повышения технологичности, облегчения массы, обеспечения доступа, проводки систем и т.д.
- Повышение экономических показателей производства.
- Внедрение новых более совершенных материалов или более дешёвых.
- Отсутствие более точной информации по объекту производства в виду секретности или иной причины.
- Т.д.

После сравнения спроектированной конструкции и реальной выполняется анализ всех конструктивных элементов деталей с описанием причин их выбора. Также производится описание внешних форм и проектирование узла.

2.6.2 Расчет анализа технологичности конструкции

Технологичными называются конструкции, которые при обеспечении эксплуатационных качеств изделия позволяют в условиях данного типа производства достигать наименьшей трудоёмкости изготовления. Как видим из определения, технологичность конструкции зависит от типа производства. Одна и та же конструкция может иметь разную степень технологичности применительно к мелкосерийному и крупносерийному производству. Однако имеется целый ряд показателей технологичности, не зависящих от типа производства.

Оценка технологичности производится различными методами. В данных указаниях предлагается применить метод экспертных оценок по показателям, не зависящим от типа производства.

Пример:

1.5 Расчет анализа технологичности конструкции

Суммарный показатель технологичности определяется как сумма произведений показателя уровня технологичности параметра на удельный вес этого показателя технологичности согласно формуле 1.1.

$$K_{\text{тех}} = \sum N_i \times M_i, \quad (1.1)$$

где:

N_i - значение показателя уровня технологичности;

M_i - удельный вес показателя технологичности;

i - порядковый номер показателя.

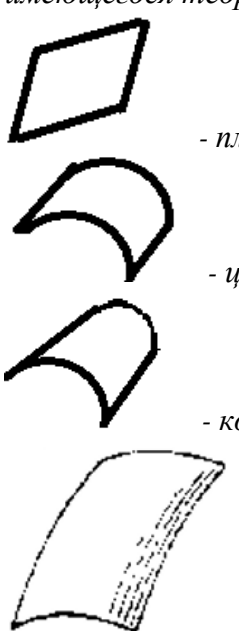
Значение показателей уровня технологичности и удельные веса показателей приведены в таблице справочных данных ниже. Для каждого параметра выбирается одно единственное значение, которое показывает для данной конструкции наименьший показатель.

Оформить таблицу анализа технологичности, как таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Показатели технологичности конструкции (справочные данные)

Наименование показателя	Значение показателя	Уровень технологичности	Удельный вес показателя
1	2	3	4
Габаритные размеры одномерный узел ($L/v > 5$)	длина L, м:		
	до 0,5	1	0,5
	до 2	0,85	
	до 6	0,75	
свыше 6	05		
<i>Одномерным узлом считается узел, основная поверхность которого базируется на плоскости, и имеет соответственно плоскую форму с отношением основных габаритов длины и ширины больше 5 (составные лонжероны, стенки).</i>			

Продолжение таблицы 3.3 – Показатели технологичности конструкции
(справочные данные)

1	2	3	4
двухмерный узел ($L/V < 5$)	максимальный размер, м до 0,5 до 2 до 6 свыше 6	0,9 0,8 0,7 0,4	0,5
<i>Двухмерным узлом</i> считается узел, основная поверхность которого базируется на плоскости, и имеет соответственно плоскую форму с отношением основных габаритов длины и ширины меньше 5 (шпангоуты, нервюры, узлы стенок и пола и т.д.).			
трехмерный узел	максимальный размер, м до 0,5 до 2 до 6 свыше 6	0,8 0,7 0,5 0,3	0,5
<i>Трехмерным узлом</i> считается узел, основная поверхность которого базируется на теоретической поверхности и имеет, соответственно объемную форму (панели фюзеляжа, зализы, обтекатели и т.д.).			
Форма обводов	плоская цилиндрическая коническая двойной кривизны	1 0,75 0,5 0,2	0,5
<p><i>Форма обводов</i> - это форма теоретических обводов, на которые имеет выход рассматриваемый узел (например, плоский двухмерный узел "Шпангоут" может выходить на теоретическую поверхность фюзеляжа цилиндрической формы или двойной кривизны).</p> <p><i>Форма обводов</i> имеет относительный характер, и определяется относительно сечений имеющегося теоретического обвода. Внешний вид различных форм обводов:</p>			
 <p>- плоская</p> <p>- цилиндрическая</p> <p>- коническая</p> <p>- двойной кривизны</p>			

Продолжение таблицы 3.3 – Показатели технологичности конструкции
(справочные данные)

1	2	3	4
Форма контура	прямолинейная дуги окружности криволинейная	1 0,7 0,6	0,5
<p><i>Под формой контура понимают форму сечений по основным поперечным или продольным сечениям.</i></p> <p>Прямолинейная форма контура – форма, имеющая в своём сечении только прямую линию, без каких-либо искривлений или радиусов.</p> <p>Форма контура, образованная дугами окружности – по своим сечениям, образует криволинейную окружность из одной или двух сопряженных окружностей, имеющих определенный радиус.</p> <p>Криволинейная форма обвода – форма сечения, которая образована кривыми второго порядка, определяемая координатными точками и не имеющая стандартных измеримых параметров кривизны.</p>			
Уровень кривизны:	плоская малая кривизна (R кривизны >1м) большая кривизна (R кривизны <1м)	1 0,9 0,6	0,4
<p><i>Уровень кривизны узла определяет сложность сопряжения его основных элементов. Например, к плоской обшивке гораздо проще присоединить диафрагму по всем точкам, чем по криволинейной обшивке. Определение большой или малой кривизны происходит через построение условной вписанной окружности. Именно радиус данной окружности определяет большую или малую кривизну.</i></p>			
Допуск на аэродинамический контур, мм	±0,5...0,8 ±0,8...1,0 ±1,0...1,5 ±1,5...2,0 ±2,0...3,0	0,2 0,4 0,6 0,8 1	1
<p><i>Соблюдение заданных допусков на аэродинамический контур предъявляет дополнительные требования на точность изготовления деталей и точность их установки во время сборки. Для некоторых деталей, чья размерная цепь превышает допустимые размеры на аэродинамический контур необходимо усложнять технологический процесс и повышать так высокие требования к технологической оснастки, что приводит к заметному снижению технологичности..</i></p>			
Выход на обвод	выходит не выходит	0,5 1	0,8
<p><i>Выход на обвод подразумевает выход на теоретические поверхности.</i></p>			
Расположение элементов каркаса	одностороннее двухстороннее	1 0,8	0,7
<p><i>Расположение элементов каркаса показывает с одной или обеих сторон от базовой поверхности располагается конструкция узла.</i></p>			
Наличие узлов стыка	отсутствуют разъемные неразъемное	1 0,8 0,7	0,8
<p><i>Под узлами стыка следует понимать такие узлы или детали, с помощью которых разрабатываемый узел стыкуется с основной конструкцией агрегата (например: кронштейны, стыковые ленты, узлы навески и т.д).</i></p>			

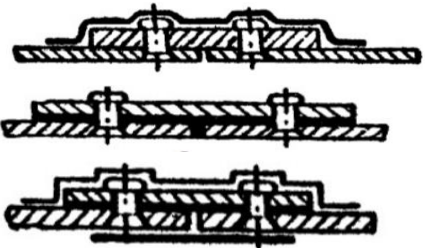
Продолжение таблицы 3.3 – Показатели технологичности конструкции (справочные данные)

1	2	3	4
Уровень панелирования	$K_{\text{пан}} = \frac{\text{площадь панелей}}{\text{общая площадь поверхности}}$	$K_{\text{пан}}$	0,5
<i>Внедрение в конструкцию узла монолитных панелей часто сокращает технологический процесс выполнения сборки, так как для таких узлов отпадает необходимость клепки деталей, ставших частью панели. Это значительно сокращает трудоемкость сборки, а в ряде случаев и процессы изготовления деталей.</i>			
Наличие проемов и люков	нет есть	1 0,8	0,5
<i>Данный пункт подразумевает наличие проемов и люков в составе разрабатываемого узла.</i>			
Конфигурация сечения деталей	открытая закрытая замкнутая	1 0,6 0,4	0,6
<i>От конфигурации сечений деталей зависит простота работа с ними. По возможности необходимо обеспечивать все детали с открытыми сечениями, так как именно в этом случае у нас имеются наиболее удобные подходы к выполнению соединений. Открытым сечением считается когда у детали по всем сечениям грани имеют только одно смежное ребро между собой. Типовыми открытыми сечениями являются: уголки, швеллер, Z-образные сечения, тавры, двутавры и т.д. Закрытое сечение – деталь в каком-либо сечении образует «кольцо». Примерами таких деталей являются различные трубы, и детали трубчатого сечения. Замкнутые детали в своем любом сечении имеют закрытый контур. Они образуют «сферы».</i>			
Количество разнородных материалов	1 2 3 4 более 4	1 0,9 0,8 0,7 0,5	0,6
<i>Разнородными следует считать материалы с разными основными элементами. Например Д16, АМц, АМг, АК6 (алюминиевые сплавы) и ОТ4, ВТ6, ВТ20 (титановые сплавы) – это разнородные материалы.</i>			
Обрабатываемость материала	неармированные неметаллы алюминиевые сплавы магниеые сплавы сталь титановые сплавы армированные неметаллы армированные металлы	1 0,95 0,9 0,7 0,5 0,3 0,2	0,5
Уровень стандартизации	$K_{\text{ст}} = \frac{\text{кол. — во станд. дет}}{\text{общее кол. — во деталях}}$	$K_{\text{ст}}$	0,5
<i>Конструкции узлов как правило имеют свои индивидуальные детали, которые применимы только в конкретном месте. Однако встречаются и различные детали, которые в совокупности у разных самолетов могут не меняться. Такие детали могут стандартизировать с помощью СТП. Примерами таких деталей являются различные стойки, кронштейны и полки для установки оборудования или каких-либо систем типовой конструкции. Такие детали как правило имеют уже отработанную технологию изготовления и установки на сборку и требуют меньше трудозатрат, увеличивая технологичность.</i>			

Продолжение таблицы 3.3 – Показатели технологичности конструкции
(справочные данные)

1	2	3	4
Уровень повторяемости	$K_{повт} = \frac{\text{кол. – во повтор. дет}}{\text{общее кол. – во деталей}}$	$K_{повт}$	0,5
<i>Повторяющиеся детали заметно упрощают ориентацию в различных наименованиях по спецификации.</i>			
Расположение точек силового замыкания	продольное поперечное продольно-поперечное по процентным линиям параллельное	1 1 0,8 0,7 1	0,7
<i>Расположение точек крепежа выбирается по чертежу при рассмотрении основных заклепочных швов.</i>			
Конфигурация швов	прямолинейные круговые криволинейные точечный	1 0,8 0,7 1	0,8
<ul style="list-style-type: none"> - Круговой – это по периметру люков, окантовок, иллюминаторов, то есть по кругу. - Прямолинейный – это по прямой линии в плоскости, либо почти плоской поверхности (по стрингеру, лонжерону). - Точечный – по отдельным точкам (не по шву). - Криволинейный – все остальные. 			
Шаг точек силового замыкания	постоянный переменный	1 0,5	0,8
<i>При выборе показателя уровня технологичности для заданных шагов, также следует выбирать среднее значение, исходя из заданных шагов в сборочном чертеже.</i>			
Вид соединения	заклепочное болтовое сварное клеевое комбинированное	1 0,8 0,8 0,7 0,6	0,9
Количество типоразмеров крепежа	1 2 3 4 более 4	1 0,9 0,8 0,7 0,6	0,9
<i>Количество типоразмеров крепежа соответствует количеству видов крепежных элементов указанных в спецификации.</i>			
Подходы к точкам силового замыкания	двухсторонний свободный ограниченный односторонний	1 1 0,8 0,5	1
<p><i>Подходы к крепежным элементам – это характеристика, позволяющая определить доступ сборщика при установке крепежа.</i></p> <p>Свободный или двухсторонний доступ позволяет устанавливать крепежные элементы без каких-либо ограничений.</p> <p>Ограниченный доступ подразумевает ограничения для подвода инструмента.</p> <p>Односторонний доступ подразумевает полное отсутствие доступа с одной стороны.</p>			

Продолжение таблицы 3.3 – Показатели технологичности конструкции
(справочные данные)

1	2	3	4
Уровень механизации выполнения соединений	$K_M = \frac{N_M}{N}$	K_M	0,8
<i>В современном производстве все соединения выполняются либо в ручную, но с применением специального механического инструмента, либо на автоматических станках. В расчёт берутся все крепежные точки узла и сопоставляются с количеством образованных вручную.</i>			
Уровень автоматизации выполнения соединений	$K_a = \frac{N_a}{N}$	K_a	0,8
<i>При наличии автоматизации постановки соединений с помощью специальных устройств значительно снижается доля ручного труда. В расчёт берутся все крепежные точки узла и сопоставляются с количеством образованных специальными автоматами. В случае если таких нет, данный параметр устанавливается равным 0.</i>			
Герметизация швов	нет поверхностная внутренняя комбинированная	1 0,9 0,8 0,7	0,9
<i>Данные о герметизации закладываются конструктивными особенностями узлов и агрегатов и указываются в техтребованиях сборочного чертежа. Герметизацию применяют для: поддержания избыточного давления в кабинах; предотвращения утечки топлива из отсеков крыла и фюзеляжа, используемых как емкости; защиты отсеков и агрегатов от проникновения в них агрессивных жидкостей и газов и попадания влаги и т.д.</i> <i>Виды герметизации:</i>			
			
<p style="text-align: right;">- поверхностная</p> <p style="text-align: right;">- внутришовная</p> <p style="text-align: right;">- комбинированная</p>			

После определения суммарного показателя технологичности (K_{tex}) производится оценка уровня технологичности сборочного узла.

Конструкция может оцениваться как:

- высокотехнологичная;
- технологичная;
- низкотехнологичная;
- нетехнологичная.

Зависимость оценки уровня технологичности узла от суммарного показателя технологичности приводится в таблице 1.3.

В конце каждого раздела необходимо сформировать вывод, который должен содержать данные о проделанной работе и полученном результате. Пример приведён ниже.

Пример:

Таблица 1.2 – Показатели технологичности конструкции

Наименование показателя	Значение показателя	Уровень технологичности	Удельный вес показателя
1	2	3	4
Габаритные размеры	Трехмерный узел (максимальный размер, м): до 2	0,8	0,5
Форма обводов	цилиндрическая	0,75	0,5
...

$$K_{\text{тех}} = \text{_____}$$

Оценка уровня технологичности конструкции узла определяется по таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Оценка уровня технологичности конструкции узла

Значение $K_{\text{тех}}$	Оценка уровня технологичности
Более 15	Высокая технологичность
10...15	Технологичная
8...10	Низкая технологичность
менее 8	Не технологичность

На основании таблицы 1.3 можно сделать вывод, что конструкция _____ в условиях данного типа производства.

2.6.3 Составление схемы увязки и обеспечения взаимозаменяемости конструкции узла на производстве

Метод обеспечения взаимозаменяемости определяет характер технологической подготовки производства. При этом выявляются методы изготовления деталей, контроль их контуров и размеров, методы изготовления элементов сборочных приспособлений и их монтаж. Все этапы переноса форм и размеров с первоисточника на заготовительную, механосборочную, сборочную, контрольную оснастку и детали отражаются в схеме увязки.

Существуют три принципиальные разновидности схем процессов увязки:

- плазово-шаблонный метод (ПШМ), где в качестве основных средств используются шаблоны, полученные по теоретическим и конструкторским плазам;
- макетно-эталонный метод (МЭМ), построенный на использовании специальных объемных носителей форм и размеров – эталонов и контрэталонов, макетов и контрмакетов;

- бесплазовый метод, построенный на том, что с помощью системы исходных числовых данных о геометрических формах и размерах обводов изделия, рассчитанных на ЭВМ, выдерживаются заданные допуски при расчетах, вычерчивании плазовых линий, изготовлении контуров оснастки механообрабатываемых изделий и создании математической модели (ММ) объекта производства и использовании оборудования с ЧПУ для изготовления как оснастки, так и деталей самолета.

В чистом виде в современном самолётостроении ни один из трёх названных методов увязки не применяется. Как правило, применяются все три метода с преобладанием того или другого в зависимости от:

- типа производства (единичное, серийное, крупносерийное);
- требований к точности аэродинамических обводов;
- конструкции изделия (наличия конструктивных и технологических стыков);
- габаритов изделия.

Определить, какой метод увязки использовался в Вашем случае. Разъяснить, почему выбрали именно этот метод по сравнению с остальными методами увязки.

Схему увязки и обеспечения взаимозаменяемости необходимо представить на рисунке, как показано в примере.

Перечень технологической и контрольной оснастки для изготовления деталей сборочного узла в цехах ЗШП представить в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Перечень технологической и контрольной оснастки для изготовления деталей в ЗШП

Деталь	Метод обработки	Источник информации о геометрии элемента	Оснастка для образования элемента	Средства контроля геометрии и отверстий
Нервюры	Гибка эластичной средой	ЭМД ТхЭМ детали, ТхЭМ заготовки	Формблок	ШК, ШР
Стойки	Обрезка	ЭМД ТхЭМ детали	Отрезной станок	ШОК
Стрингер	Обрезка, подсекание	ЭМД ТхЭМ детали	Отрезной станок, подсечной штамп	ШКС подсечки, ШОК

Пример:

Схема увязки и обеспечения взаимозаменяемости представлена на рисунке 2.Х.

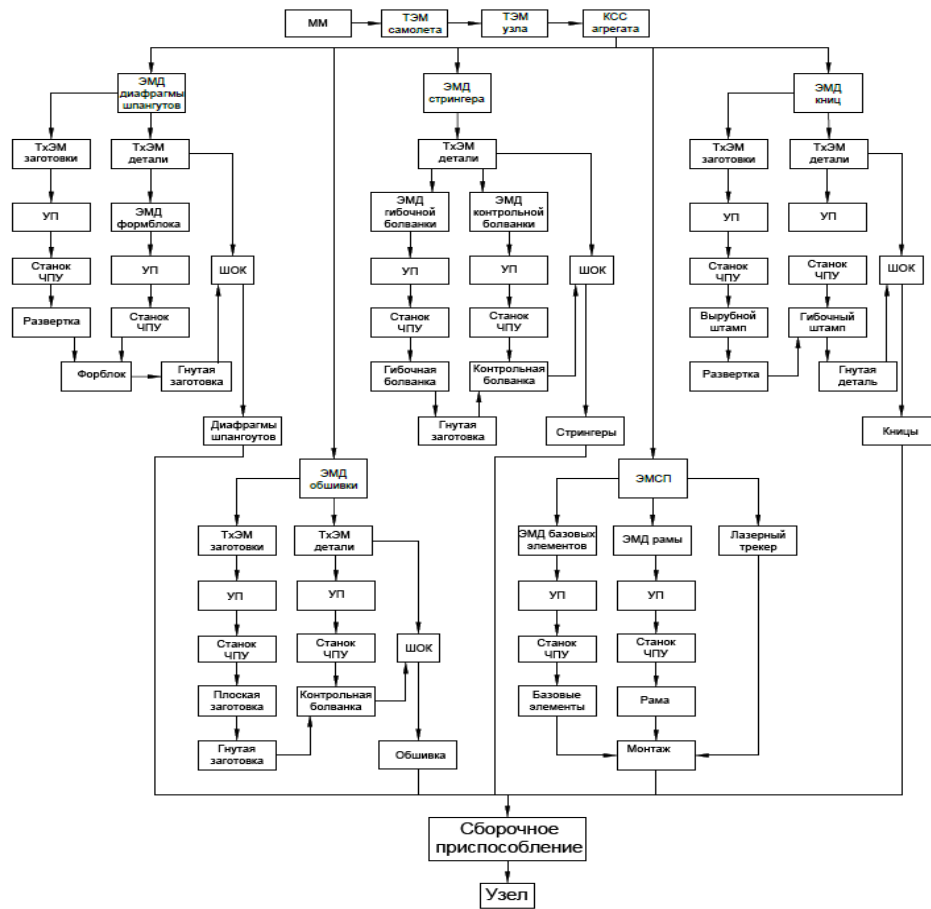


Рисунок 2.Х – Схема увязки и обеспечения взаимозаменяемости (наименование узла)

2.8 Заключение

В конце работы над курсовым проектом, все сделанные выводы объединяют в один общий подробный вывод о проделанной работе – заключение.

3 Расчет силовых элементов конструкции сборочного узла на статические нагрузки

Данный раздел содержит описание и расчеты на прочность для элементов конструкции. Все расчеты имеют упрощенную форму и выполняются без жесткой связи с другими узлами, отсеками и агрегатами самолета. Многие схемы и формулы для расчета будут иметь упрощенный вид. Это позволит независимо проводить расчеты и получать результат, близкий к действительному.

3.1 Составление схемы нагружения конструкции

Схема нагружения выстраивается в зависимости от части конструкции и демонстрирует общее распределение нагрузок. Как правило существуют отдельные схемы нагружения агрегатов (крыла, фюзеляжа, оперения и т.д.). С каждой схемы нагружения, отдельно берется схема нагружения той части конструкции, которая рассчитывается, например: часть крыла между нервюрами, элерон, панель фюзеляжа. На неё будут действовать только те нагрузки, которые входят в расчет конкретного изделия.

Основными нагрузками на элементы являются статические нагрузки. На основе общих схем необходимо выделить схему нагружения и установить действующие нагрузки.

Расчет всех действующих нагрузок рекомендуется выполнить в виде файла таблицы Excel или иной, после, расчеты показать руководителю. Все действующие силы Q , моменты $M_{кр}$ и $M_{из}$ вносятся в таблицу по выбранным сечениям с определенным шагом. Сечения брать согласно КСС изделия.

В качестве примера будет рассмотрена схема нагружения крыла самолета Як-54. Нагружение правой половины крыла показано на рисунке 2.1.

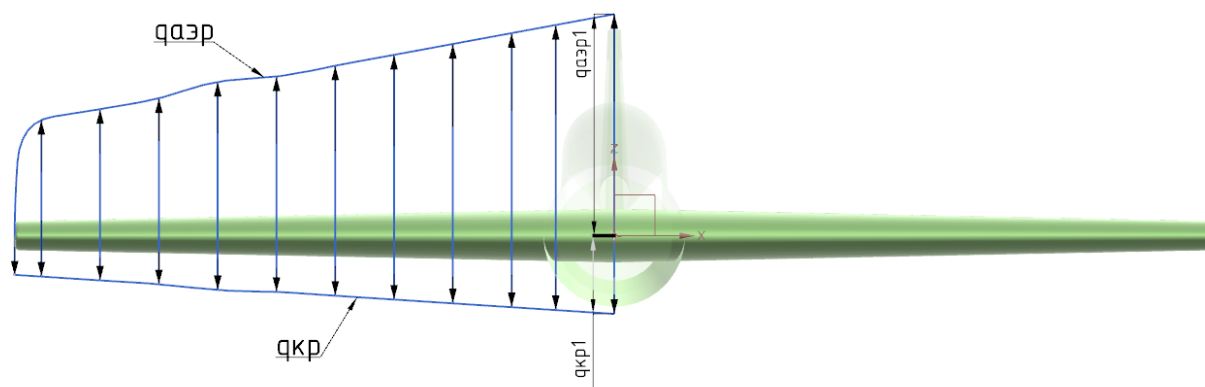


Рисунок 2.1 – Схема нагружения правой полуплоскости крыла самолета Як-54

Значения всех нагрузок самолета определяются в качестве задания преподавателем, руководителем курсового проекта. В таблице 3.1 представлен пример сил, действующих на крыло самолета Як-54.

Таблица 3.1 – Значения расчета сил, нагружающих крыло

№ сечения	Q_y , Н	$M_{из}$, Нм	$M_{кр}$, Нм	$q_{аэр}$ (Н/м)
1	68283,3	251282,7	23354,8	23241,63381
2	60293,5	203792,2	19999,4	22824,64173
3	50309,6	149922,7	15962,4	22407,68212
4	41087,9	106006,8	12433,0	21990,68462
5	32633,8	71141,7	9424,3	21625,79153
6	24942,7	44398,0	6838,8	19106,84524
7	18691,5	25794,3	5275,9	6832,226742
8	11858,9	11621,8	2908,7	6559,27434
9	6463,6	3748,9	1494,8	13849,27721
10	1833,9	330,1	395,7	13530,81385

По найденным значениям сил с помощью графических программ, САПР или вручную строится схема нагружения и эпюры в соответствии с найденными значениями в масштабе.

Схема нагружения крыла самолета Як-54 приведена на рисунке 2.2.

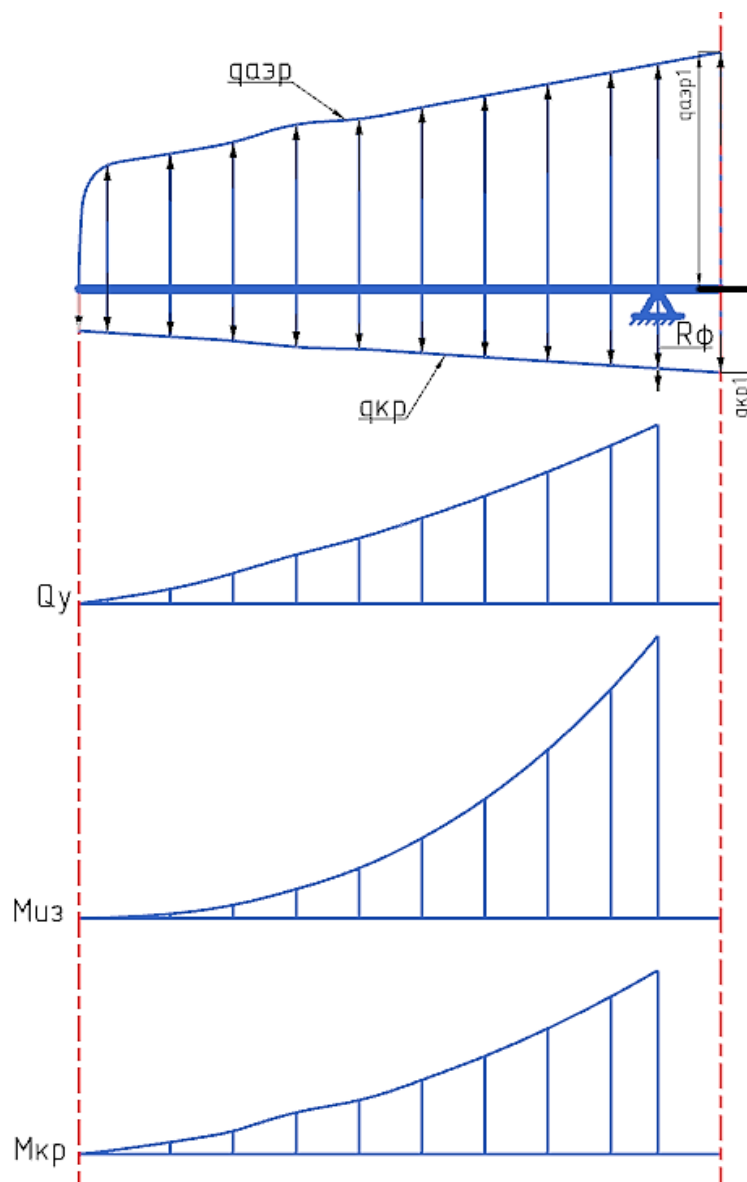


Рисунок 2.2 – Схема нагружения крыла самолета Як-54

Иные схемы нагружения на другие агрегаты выполняются аналогичным способом в соответствии с расчетными случаями. Каждая конкретная конструкция требует своего отдельного расчета по отдельным параметрам. Для расчета панелей по частям шпангоута достаточно будет изобразить лишь часть нагружения конкретного отсека.

3.2 Расчет сечений силовых элементов конструкции узла

Расчет силовых элементов конструкции будет проводиться только на основе проектировочного расчета. В основу расчетов берется уже имеющаяся КСС конструкции. Все расчеты силовых элементов будут выполняться на основе известных значений нагрузок, действующих на конструкцию и в соответствии с расчетной схемой.

Общий расчет сводится к обязательному расчету потребной толщины обшивки, работающей на крутящий момент, сечению основного силового элемента на изгиб, а также, отдельный расчет всех остальных не силовых элементов на действующие напряжения и нагрузки.

Первым делом, необходимо указать, какие элементы работают на какие нагрузки и в каких сечениях. В случае для крыла выбранной схемы эти параметры, следующие: конструкция крыла однолонжеронная с задней стенкой. Основной изгибающий момент воспринимается лонжероном. Крутящий момент воспринимается контуром, образованным носком и лонжероном. Обшивка усиливается стрингерным набором, а крутящий момент с обшивки воспринимают нервюры, образуя перерезающую силу на лонжерон и заднюю стенку. Исходя из обозначенных нагрузок рассчитываются все элементы крыла.

3.2.1 Расчет несущих поверхностей

В качестве расчета крыла, оперения, управляющих поверхностей и механизации будет применен только проектировочный расчет.

При проектировочном расчете перечисленных элементов учитывается:

- Основная нагрузка кручения будут принимать обшивка и пояса нервюр. Причем нервюры выступают в качестве второстепенного элемента.
- Изгиб будут воспринимать пояса лонжерона и частично части обшивок. В случае кессонного крыла обшивка будет нести прямую нагрузку совместно с поясами.
- Поперечная сила воспринимается равномерно всеми стенками лонжеронов и продольными стенками. Дополнительно стенки будут догружаться реакциями в виде касательных напряжений от нервюр.
- Стрингеры будут укреплять обшивку при её местной работе на изгиб. Также стрингеры принимают на себя нагрузку с обшивок в замкнутых «ячейках».

3.2.1.1 Расчет обшивки

В первую очередь определяются сечения нагрузки. Как правило самые нагруженные части будут в местах установки силовых нервюр и в корневой части. Остальные сечения подстраивают под расчётную.

Толщина обшивки рассчитывается по формуле 3.1.

$$s_{\text{обш. пр.}} \geq \frac{M_{\text{кр}}^p}{\Omega \times \tau^p} \times 1000 \times 1 \dots 1,2, \quad (3.1)$$

где:

$s_{\text{обш. пр.}}$ – проектировочная толщина обшивки, мм;

$M_{\text{кр}}^p$ – максимальный расчетный крутящий момент в сечении, Нм;

Ω - удвоенная площадь контура, работающего на кручение, м;

τ^p – расчетное напряжение в обшивке или другом элементе при сдвиге, равное $(0,25 \dots 0,33) \times \sigma_v$, Па.

В свою очередь σ_v предел прочности материала, выбранного для обшивки. Берется из справочников по материалу в том состоянии, в котором деталь ставится на самолет.

Расчет удвоенной площади контура выполняется по формуле 3.2.

$$\Omega = 2 \times B \times H_{\text{ср}}, \quad (3.2)$$

где:

B – ширина контура, работающего на кручение, м;

$H_{\text{ср}}$ – средняя высота сечения контура, работающего на кручение, м.

Расчет лонжеронов и стенок:

Как правило изгиб в конструкциях с металлической обшивкой частично воспринимается и самой обшивкой. Между стенками и лонжеронами также распределяется изгибающий момент. Однако следует разделять растянутую и сжатую зоны.

3.2.1.2 Расчет изгиба

При расчете изгиба сначала определяется площадь всех элементов, работающих на изгиб. Эту часть называют панелью. Здесь будут рассчитаны пояса лонжеронов, усиленные полоски обшивок, стрингеры, догружаемые обшивкой при изгибе. Расчет нагрузки на панель выполняется по формуле 3.3.

$$P_{\text{пан.}} = \frac{M_{\text{из}}^p}{H_{\text{ср}}}, \quad (3.3)$$

где:

$P_{\text{пан.}}$ – нагрузка в верхней и нижней панелях, Н;

$M_{\text{из}}^p$ – максимальный расчетный изгибающий момент в сечении, Нм.

Из расчета нагрузки панели определяют площадь панели, работающей на сжатие или растяжение по формулам 3.4 и 3.5 соответственно.

$$F_{\text{пан. сж.}} = \frac{P_{\text{пан.}}}{\sigma_{\text{кр.п}}}, \quad (3.4)$$

$$F_{\text{пан. р.}} = \frac{P_{\text{пан.}}}{k_1 \times k_2 \times \sigma_B}, \quad (3.5)$$

где:

$F_{\text{пан. сж.}}$ – площадь сжатой панели, м²;

$F_{\text{пан. р.}}$ – площадь растянутой панели, м²;

$\sigma_{\text{кр}}$ – критическое напряжение материала основного лонжерона, равное $(0,75 \dots 0,8) \times \sigma_B$, Па;

k_1 и k_2 – коэффициенты, учитывающие отверстия и напряжения в них и равные 0,9.

Через коэффициент, учитывающий долю нагружения поясов лонжеронов на изгиб, определяют площадь поясов по формуле 3.6.

$$F_{\text{п.}} = k_{\text{п.}} \times F_{\text{пан. сж.(р.)}}, \quad (3.6)$$

где:

$F_{\text{п.}}$ – суммарная площадь поясов лонжеронов, м²;

$k_{\text{п.}}$ – коэффициент, учитывающий долю усилий на лонжероны. Для лонжеронного крыла $k_{\text{п.}} = (0,6 \dots 0,9)$, где большие значения для тонких обшивок, а для кессонного крыла $k_{\text{п.}} = (0,15 \dots 0,6)$.

Распределение нагрузки по поясам проходит пропорционально их жесткости, однако для простоты расчетов можно выразить через высоты лонжеронов и определить площади поясов по формуле 3.7.

$$F_{\text{п. сж.(р.)}} = \frac{F_{\text{пан. сж.(р.)}} \times H_i}{\sum_i H_i}, \quad (3.7)$$

где:

$F_{\text{п. сж.(р.)}}$ – площадь конкретного лонжерона или борта стенки, м². Для стенки данное значение нужно уменьшить на 20% и догрузить этой нагрузкой ближайший лонжерон;

H_i – высота конкретного лонжерона, м²;

Из расчета панели, работающей на изгиб, вычисляются площади стрингеров по формуле 3.8.

$$F_{\text{стр.}} = \frac{F_{\text{пан. сж.(р.)}} - \sum_{i=1}^n (F_{\text{п. сж.(р.)}} \times \varphi_{\text{п.}})}{n_{\text{стр.}} \times \varphi_{\text{стр.}}}, \quad (3.8)$$

где:

$F_{\text{стр.}}$ – площадь одного стрингера, обычно не превышает 1,5 см²;

$\varphi_{\text{п.}}$ – редуцированный коэффициент пояса конкретного лонжерона равный отношению $\sigma_{\text{кр.п.}} / \sigma_{\text{кр.п.}}$;

$\varphi_{\text{стр.}}$ – редуцированный коэффициент пояса стрингера равный отношению $\sigma_{\text{кр.стр}}$ и $\sigma_{\text{кр.п.}}$. Обычно находится в пределах 0,7...0,8;
 $n_{\text{стр.}}$ – количество стрингеров на панели (в соответствии с КСС).

3.2.1.3 Расчет стенки или лонжерона на сдвиг

При расчете стенок на перерезающие усилия сначала определяют силу в лонжероне с учетом конусности крыла, затем определяют возникающие касательные напряжения. По ним определяют возможность работы детали на сдвиг. Расчет приведенной силы в стенке выполняется по формуле 3.9.

$$Q_{\text{пр}} = Q_y^p - \frac{M_{\text{из}}^p}{H_{\text{сп}}} \times \gamma, \quad (3.9)$$

где:

$Q_{\text{пр}}$ – сила в стенке лонжерона с учетом конусности крыла, Н;

Q_y^p – поперечная сила в крыле, Н;

γ – средний угол конусности, рассчитываемый по формуле 3.10, рад.

$$\gamma = \frac{\overline{c_{\text{кор}}} \times b_{\text{кор}} - \overline{c_{\text{кон}}} \times b_{\text{кон}}}{L_{\text{конс}}}, \quad (3.10)$$

где:

$\overline{c_{\text{кор}}}$ и $\overline{c_{\text{кон}}}$ – относительная толщина профилей в корневой и концевой частях, равные отношению максимальной толщины профиля к хорде;

$b_{\text{кор}}$ и $b_{\text{кон}}$ – корневая и концевая хорды;

$L_{\text{конс}}$ – длина консоли крыла, м.

Сила в конкретном лонжероне будет рассчитана по высотам их стенок по формуле 3.11.

$$Q_i = Q_{\text{пр}} \frac{H_i^2}{\sum_{i=1}^n H_i^2}, \quad (3.11)$$

где:

Q_i – сила в конкретном лонжероне или стенке, Н.

Погонные касательные нагрузки в ячейке стенки рассчитывают по формуле 3.12.

$$q_i = \frac{Q_i}{0,9 \times H_i}, \quad (3.12)$$

где:

q_i – погонные касательные усилия от сдвига в конкретном лонжероне или стенке, Н/м.

Также все стенки лонжерона воспринимают касательные нагрузки от кручения крыла. Однако данная нагрузка как правило прикладывается к одному лонжерону. Расчет касательных усилий выполняется по формуле 3.13.

$$q_{кр} = \frac{M_{кр}^p}{\Omega}, \quad (3.13)$$

где:

$q_{кр}$ – погонные касательные усилия от кручения в конкретном лонжероне или стенке, Н/м.

Для дозвукового самолета от кручения будет догружаться передний лонжерон. Сумма этих сил представлена в формуле 3.14.

$$q_{л1} = q_i + q_{кр}, \quad (3.14)$$

где:

$q_{л1}$ – погонные касательные усилия в лонжероне 1, Н/м.

Расчет толщины стенки определяется исходя из разрушающей нагрузки на сдвиг материала. Рассчитанная толщина стенки округляется до ближайшего стандартного значения по ГОСТ и ОСТ или исходя из круглого значения при фрезеровании. Расчет толщины выполняется по формуле 3.15.

$$s_{ст.i} \geq \frac{q_i}{\tau^p} \times 1000 \times 1 \dots 1,5, \quad (3.15)$$

где:

$s_{ст.i}$ – толщ сжатой панели, мм.

3.2.1.4 Расчет нормальных нервюр

При расчете нервюр учитывается только погонная аэродинамическая нагрузка $q_{аэр}$. Каждая нервюра воспринимает нагрузку отсека между соседней нервюрой. При этом расчет выполняется на все нервюры, а толщина определяется округлением по условиям стандартизации деталей. Нагрузка на нервюру рассчитывается по формуле 3.16.

$$P_n = q_{аэр}^p \times t_{нерв}, \quad (3.16)$$

где:

$q_{аэр}^p$ – расчетное значение аэродинамических погонных усилий на элемент, Н/м;

$t_{нерв}$ – шаг нервюр, м.

Распределение воздушной нагрузки по хорде нервюры считают по формуле 3.17.

$$p_{\text{воз}i} = k \times x_i^2, \quad (3.17)$$

где:

$p_{\text{воз}i}$ – погонная воздушная нагрузка в конкретном сечении, Н/м;
 k – коэффициент пропорциональности, считаемый по формуле 3.18;
 x_i – расстояние от хвостовика сечения до конкретного сечения, м.

Формула коэффициента пропорциональности находится по формуле 3.18.

$$k = \frac{3 \times P_H}{b_{\text{сеч}}^3}, \quad (3.18)$$

где:

$b_{\text{сеч}}$ – хорда сечения нервюры, м.

Реакции в опорах лонжеронов и стенок вычисляются по системе уравнений 3.19

$$\begin{cases} \frac{R_1}{R_2} = \frac{H_1^2}{H_2^2}; \\ P_H = R_1 + R_2 \end{cases} \quad (3.19)$$

где:

R_1, R_2 – реакции в опорах по лонжеронам или стенкам, Н.

Как правило в большинстве профилей появляется момент изгиба нервюры. Он рассчитывается по формуле 3.20

$$M_H = R_2 \times (x_1 - x_2) - P_H \times (0,75 \times b_{\text{сеч}} - x_1), \quad (3.20)$$

где:

M_H – момент нервюры относительно центра изгиба, Нм.

В нервюрах под действием нагрузки возникают погонные касательные усилия от обшивок и лонжеронов. Расчет этих нагрузок ведется по формуле 3.21.

$$q = \sum_{i=1}^m q_i, \quad (3.21)$$

где:

q – реактивные погонные касательные усилия в нервюре, Н/м;

q_i – реактивные погонные касательные усилия в расчетном контуре нервюры, Н/м.

При работе нервюры удобно её для уменьшения нагрузки разделить на отдельные секции по сечениям. В каждой секции возникнут свои касательные нагрузки. Эти нагрузки зависят от изгибающего момента и контура, в который нагружает заданный контур. Расчет касательных сил в данном сечении проводится по формуле 3.22.

$$q_i = \frac{M_{hi}}{\Omega_i}, \quad (3.22)$$

где:

M_{hi} – момент участка нервюры, рассчитывается по формуле 3.23, Нм;

Ω_i – удвоенная площадь конкретного контура от задней стенки, хвостовика или лонжерона, м².

$$M_{hi} = M_H \times \frac{\Omega_i^2}{\sum_{i=1}^m \Omega_i^2}, \quad (3.23)$$

В каждом отдельном сечении действует своя нагрузка и момент относительно воздушных нагрузок. Расчеты сил в сечениях выполняют по формуле 3.24, а моментов по формуле 3.25.

$$Q_i = -\frac{1}{3} \times p_{\text{воз}i} \times x_i + R_2 - q_2 \times h_x, \quad (3.24)$$

где:

Q_i – сила в конкретном сечении нервюры, Н;

h_x – высота взятого сечения, м.

$$M_{\text{из.н.}i} = \left(\frac{1}{3} \times p_{\text{воз}i} \times x_i\right) \times \frac{1}{4} \times x_i - R_2 \times (x_i - x_2) + q_2 \times \Omega_x, \quad (3.25)$$

где:

$M_{\text{из.н.}i}$ – изгибающий момент нервюры, Нм;

Ω_i – удвоенная площадь конкретного контура от задней стенки или лонжерона до переднего, м².

После определения действующих нагрузок определяют толщину стенки нервюры, которая будет работать на сдвиг по формуле 3.26. Высота борта, который будет работать на изгиб нервюры, определяется по формуле 3.27.

$$s_H \geq \frac{Q_i}{0,9 \times h_{xi} \times \tau^p} \times 1000 \times 1 \dots 1,5, \quad (3.26)$$

где:

s_H – толщина стенки нервюры, м.

$$h_6 \geq \frac{M_{\text{из.н.}i}}{h_{xi} \times s_H \times k_1 \times k_2 \times \sigma_B} \times 1000 \times 1 \dots 1,5, \quad (3.27)$$

где:

h_6 – расчетная высота борта нервюры, мм

k_1, k_2 – коэффициенты, учитывающие отверстия и напряжения в них и равные 0,9.

При расчете силовых нервюр дополнительно учитываются реакции от сосредоточенных сил на дополнительных элементах. Однако в рамках упрощения расчетов в данном курсовом проекте усиление нервюр принимается в пределах 3-5 кратного усиления толщины и ширины борта в зоне действия нагрузки, и ступенчатого уменьшения усиления нервюры к обратной стороне. Ступеней усиления принимать от 2 для коротких нервюр до 4 для длинных. Ступени между собой разделяются 5 заклепками или 3 болтами. В некоторых случаях допускается единичное усиление одним болтом при достаточности воспринимаемой нагрузки. Важно при проектировании усиленных нервюр уменьшать количество вырезов в бортах или усиливать их в зоне такого выреза.

3.2.2 Расчет панелей, створок, люков и капотов в фюзеляже

При расчете элементов фюзеляжа на прочность учитываются погонные касательные нагрузки по контуру сечения. Сами касательные нагрузки образуются от действующих сил и моментов. Расчет обычно делят на боковины и своды. В случае панели, рассматривается расчётный случай её расположения сбоку или сверху и снизу. В случае капотов и створок шасси расчет ведется, как для панели с дополнительными нагрузками на узлы крепления.

При расчете рассматривается следующее:

- Изгиб фюзеляжа воспринимают обшивка со стрингерами.
- При тонкой обшивке стрингеры дополнительно нагружаются потерей устойчивости от обшивки.
- Расчет боковин производится относительно нагрузок по оси Z, расчет сводов относительно оси Y.
- Шпангоуты нагружаются погонными касательными нагрузками от обшивки и стрингеров. Внутри шпангоуты работают на сдвиг, изгиб и сжатие.
- Рассматривают отсек при условии равномерного нагружения всех стрингеров.

3.2.2.1 Расчет сечения на изгиб

Первоначально рассчитывают осевую силу в панелях по формулам 3.28 и 3.29.

$$P_{\text{пан. св}} = \frac{M_z}{h_{\text{пан}}}, \quad (3.28)$$

$$P_{\text{пан. б}} = \frac{M_y}{h_{\text{пан}}}, \quad (3.29)$$

где:

$R_{\text{пан. св}}$ – осевая сила в сводах сечения фюзеляжа, Н;

$R_{\text{пан. б}}$ – осевая сила в боковинах сечения фюзеляжа, Н;

M_z – изгибной момент в верхней проекции, Нм;

M_y – изгибной момент в боковой проекции, Нм;

$h_{\text{пан}}$ – длина панели или створки, капота, м.

После расчета действующих осевых сил определяют погонные касательные усилия по формулам 3.30 и 3.31.

$$q_{\text{сеч. св}} = \frac{Q_z - R_{\text{пан. св}}}{2 \times h_{\text{пан}}} + \frac{M_k}{\Omega}, \quad (3.30)$$

$$q_{\text{сеч. б}} = \frac{Q_y - R_{\text{пан. б}}}{2 \times h_{\text{пан}}} + \frac{M_k}{\Omega}, \quad (3.31)$$

где:

$q_{\text{сеч. св}}$ – погонные касательные усилия в сводах, Н/м;

$q_{\text{сеч. б}}$ – погонные касательные усилия в боковинах, Н/м;

Q_z – перерезающая сила в верхней проекции, Н;

Q_y – перерезающая сила в боковой проекции, Н;

M_k – крутящий момент в сечении, Нм;

Ω – удвоенная площадь сечения фюзеляжа, рассчитываемая по формуле 3.32, м².

$$\Omega = 2 \times F_{\text{сеч. ф}}, \quad (3.32)$$

где:

$F_{\text{сеч. ф}}$ – площадь сечения фюзеляжа, замеряемая по модели, м².

По расчетам воздушной нагрузки по формуле 3.33 определяют толщину обшивки.

$$s_{\text{обш}} = \frac{q_{\text{сеч}}}{\tau^p} \times 1000 \times 1,2 \dots 1,8 \times 0,6 \dots 1, \quad (3.33)$$

где:

$s_{\text{обш}}$ – толщина обшивки, мм;

τ^p – расчетное напряжение в обшивке или другом элементе при сдвиге, равное $(0,25 \dots 0,33) \times \sigma_b$, Па;

Коэффициент 1,8 учитывает работу обшивки при потере устойчивости и нагрузку от избыточного давления. Коэффициент 1,2 не учитывает избыточное давление.

Коэффициент 0,6...1 учитывает степень передачи нагружения на стрингеры 0,6 передает, 1 не передает.

В свою очередь σ_b предел прочности материала, выбранного для обшивки. Берется из справочников по материалу в том состоянии, в котором деталь ставится на самолет.

3.2.2.2 Расчет стрингеров

Для расчета стрингеров необходимо определить площадь панели, работающей на изгиб. Количество стрингеров при расчетах берется исходя из КСС панели, створки или капота. Для начала производится расчет площади панели, работающей на изгиб по формуле 3.34

$$F_{\text{пан.}} = \frac{P_{\text{пан.}}}{\sigma_b}, \quad (3.34)$$

где:

$F_{\text{пан. сж.}}$ – площадь панели, работающей на изгиб, м²;

Из расчета площади панели, зная толщину обшивки, по формуле 3.35 определяют площадь стрингера. Площадь стрингера для фюзеляжа может достигать 3 см².

$$F_{\text{стр}} = \frac{F_{\text{пан.}} \cdot 0,9 \times s_{\text{обш}} \times t_{\text{стр}}}{n_{\text{стр}}} \times 1 \dots 1,4, \quad (3.35)$$

где:

$F_{\text{стр}}$ – площадь стрингера, м²;

$t_{\text{стр}}$ – шаг стрингеров в панели, м;

$n_{\text{стр}}$ – количество стрингеров панели.

Коэффициент 1...1,4 учитывает восприятие нагрузки от обшивки. Если для обшивки коэффициент составил 0,6, то для стрингера берем 1,4.

3.2.2.3 Расчет шпангоутов

При расчете шпангоутов учитывается их нагрузка погонными силами от стрингеров и обшивки. В общем расчете учтем, что шпангоуты нагружаются за счет тех же погонных сил, на которые работают обшивка и стрингеры. Расчеты будут проходить упрощенно по статической схеме нагружения от стрингеров и от обшивки на отдельно выделенный участок. Участок ограничен высотой шпангоута, которая для малых самолетов находится в пределах 50-80, для больших самолетов 100-150. Обшивка будет обеспечивать нагрузку участка на изгиб, а стрингеры на сдвиг стенки. Погонные касательные нагрузки отдельного участка нормального шпангоута определяются по формуле 3.36.

$$q_{\text{обш}} = \frac{q_{\text{сеч}}}{n_{\text{стр}}}, \quad (3.36)$$

где:

$q_{\text{обш}}$ – погонные касательные усилия вдоль поясов шпангоута, Н/м.

Сила, которая образует сдвиг шпангоута, определяется по формуле 3.37.

$$N_{\text{стр}} = q_{\text{сеч}} \times t_{\text{шп}}, \quad (3.37)$$

где:

$N_{\text{стр}}$ – нагрузка от стрингера на шпангоут, Н.

Нагрузка в каждой части шпангоута между стрингерами будет рассчитана по формуле 3.38.

$$q_{\text{шп.}i} = \frac{N_{\text{стр}}}{y_i}, \quad (3.38)$$

где:

$q_{\text{шп.}i}$ – нагрузка от стрингера на шпангоут, Н/м;

y_i – расстояние от центра жесткости фюзеляжа до стрингера по вертикали для боковых панелей. Для сводов панели брать расстояние по горизонтали z_i .

Сила, действующая в части шпангоута, определяется по формуле 3.39.

$$Q_{\text{шп.}i} = q_{\text{шп.}i} \times t_{\text{стр}}, \quad (3.39)$$

где:

$Q_{\text{шп.}i}$ – нагрузка от стрингера на шпангоут, Н/м;

Изгибающий момент воспринимают пояса шпангоута. Расчет момента выполняется по формуле 3.40.

$$M_{\text{из.ш.}i} = q_{\text{обш}} \times t_{\text{стр}} \times y_i, \quad (3.40)$$

где:

$M_{\text{из.ш.}i}$ – изгиб шпангоута от обшивки в ячейке между стрингерами, Нм;

После определения действующих нагрузок определяют толщину стенки шпангоута, которая будет работать на сдвиг по формуле 3.41. Высота борта, который будет работать на изгиб нервюры, определяется по формуле 3.42. Толщину шпангоута желательно не брать меньше 1 мм.

$$s_{\text{ш}} \geq \frac{Q_{\text{шп.}i}}{0,9 \times h_{\text{шп}} \times \tau^p} \times 1000 \times 1 \dots 1,2, \quad (3.41)$$

где:

$s_{\text{ш}}$ – толщина стенки шпангоута, мм.

В случае если толщина шпангоута выходит больше 2 мм необходимо ячейку делить на дополнительные зоны добавлением стоек, и силу Q умножить на шаг стрингеров в данной области, деленный на количество образовавшихся зон. При двух стойках таких зон будет 3.

Также необходимо учитывать, что при сборке на компенсаторы диафрагма вне компенсаторов способна воспринимать нагрузки без разрыва, что увеличит её устойчивость. Это позволит уменьшить толщину на 30%. Дополнительно толщина стенки компенсаторы также учитывается в общую толщину.

$$\sum h_6 \geq \frac{M_{из.ш}}{h_{шп} \times s_{шп} \times k_1 \times k_2 \times \sigma_b} \times 1000 \times 1 \dots 1,5, \quad (3.42)$$

где:

$\sum h_6$ – сумма высот бортов шпангоута при работе на изгиб, мм;

k_1, k_2 – коэффициенты, учитывающие отверстия и напряжения в них и равные 0,9.

Высоты бортов следует распределить в зависимости от количества бортов у расчетного сечения

3.3 Подбор параметров крепёжных элементов конструкции узла

Расчет параметров заклепочных соединений также будет упрощенный. Как правило рассчитан будет только один самый нагруженный однотипный конструктивный элемент сечения, а остальные будут использовать тот же крепеж. Условно конструкция будет разделена на 3-4 сечения, где будут просчитаны заклепки, болты или иные соединения. Это позволит упростить чертежно-графическую документацию и в общем сократить количество крепежных элементов.

Как правило, расчет стержневого крепежа выполняется в первую очередь на срез, так как касательные напряжения в большей степени воздействуют на крепеж. Условно будет принят расчет заклепок и болтов по одному методу. В случае же использования сварки и клея действуют другие методы расчета, где в первую очередь расчет ведется на разрыв.

Основными параметрами работы заклепки в конструкции являются диаметр заклепки и шаг заклепок. Как правило, эти два параметра подгоняются друг под друга из условия равномерного распределения нагрузки по шву и герметичности, которую необходимо обеспечить (чем плотнее шаг, тем выше герметичность).

При выборе диаметра крепежа пользуются известными значениями из соответствующих ГОСТ и ОСТ (ОСТ 1 34076-85, ОСТ 1 34087-80, ОСТ 1 34098-80 и т.д.). Желательно выбирать заклепки диаметром 3, 3,5, 4 и 5 (мм). Заклепки, диаметром 6 мм, можно использовать в малонагруженных элементах при большой толщине пакета и в небольшом количестве, так как такую заклепку ощутимо труднее устанавливать в холодном состоянии. В общем же случае, когда диаметр крепежа превышает 5 мм или элемент конструкции воспринимает большие нагрузки, лучше использовать болтовое соединение. Также болтовые соединения желательно использовать в тройных пакетах большой толщины (суммарная толщина пакета больше 9 мм).

При выборе шага заклепок действует общее требование, что t – шаг заклепок составляет $3 \dots 5d_z$. Для уменьшения трудоемкости, следует брать большие значения шага. Кроме того, при выборе шага заклепок необходимо брать значения из ОСТ 1 00016-71.

При расчете крепежа в первую очередь определяется усилие, действующее на элемент. В основном крепеж работает на местные усилия между конструктивными опорами. Для разных элементов будут следующие случаи:

- Полка лонжерона и стенка лонжерона между нервюрами или шпангоутами.
- Нервюра между поясами.
- Нервюра между стрингерами или поясом и стрингером.
- Кница под нагрузкой от стрингера на шпангоут или нервюру.
- Прочие элементы под действующими нагрузками.

Расчет заклепок начинается с определения рабочего участка. Как правило нагрузка определяется при работе ячейки конструктивного элемента между элементами (2 ближайших нервюры, два ближайших стрингера). Затем определяется нагрузка на участок элемента. Распределенная нагрузка берется из расчетов деталей.

Нагрузку переводят в действующую силу участка по формуле 3.43.

$$N_k = q_{эл} \times t_{эл}, \quad (3.43)$$

где:

N_k – нагрузка на срез крепежа в шве;

$q_{эл}$ – усилие касательного сдвига элемента детали при работе на кручение или изгиб. Значение брать с расчетов элементов;

$t_{эл}$ – длина участка, где действуют касательные усилия. Это может быть участок между стрингерами, нервюрами и т.д. Также это может быть шаг между соседними элементами.

Во многих случаях N_k может быть уже известное значение Q . Например при расчете шпангоутов $Q_{шп.i}$, для стрингеров в панелях это будет $N_{стр}$. В некоторых других случаях известны касательные усилия, например в стенке лонжерона $q_{ли}$, в нервюрах $q_{ни}$ в конкретном контуре. Чтобы найти нагрузку на стрингер в крыле и других несущих поверхностях, необходимо воспользоваться формулами 3.44 и 3.45. Причем предпочтительно искать в растянутой зоне и брать такие же заклепки для сжатой.

$$N_{стр.сж} = F_{стр.сж} \times \sigma_{кр}, \quad (3.44)$$

$$N_{стр.р} = F_{стр.р} \times 0,9 \times 0,9 \times \sigma_{кр}, \quad (3.45)$$

где:

$N_{стр}$ – сила, приложенная к стрингеру в сжатой или растянутой зонах.

Исходя из действующей силы необходимо определить нагрузку на одну заклепку или болт, которую сверяют с её предельной нагрузкой на срез согласно ГОСТ или ОСТ крепежа. Чтобы определить усилие на одну заклепку или болт нужно рассчитать количество крепежных элементов в шве по формуле 3.46.

$$n_k = \frac{L_{\text{уч}} - (4 \times d_k + 2)}{t_k}, \quad (3.46)$$

где:

n_k – количество крепежных элементов, необходимых для работы соединения;
 $L_{\text{уч}}$ – длина участка детали, где проходит борт. Учитывается расстояние с учетом вырезов и необходимых зазоров;

d_k – диаметр заклепки согласно ОСТ 1 34102-80 или болта соответствующего ГОСТ или ОСТ;

t_k – шаг крепежа в шве. Определяется согласно ОСТ 1 00016-71.

Нагрузка на одну заклепку рассчитывается по формуле 3.47.

$$P_k = \frac{N_k}{n_k}, \quad (3.47)$$

где:

P_k – усилие на одну заклепку или болт в шве.

Подбор заклепок и болтов выполняют сравнением в соответствии с формулой 3.48.

$$P_k \leq [P_k^p], \quad (3.48)$$

где:

$[P_k^p]$ – максимально допустимое усилие среза выбранного крепежа.

Чтобы найти максимальное усилие среза необходимо предельное значение сопротивления срезу заклепки умножить на площадь заклепки. Расчет выполняется по формулам 3.49 и 3.50.

$$F_k = \pi \times r_k^2, \quad (3.49)$$

$$[P_k^p] = F_k \times \tau_{\text{ср.к}}, \quad (3.50)$$

где:

F_k – площадь крепежного элемента;

r_k – радиус заклепки или болта, равный 1/2 диаметра;

$\tau_{\text{ср.к}}$ – сопротивление срезу крепежного элемента из ОСТ или ГОСТ на крепежный элемент или группу элементов.

Смятие участка склепываемого пакета учитываться не будет.

Расчетные значения вносятся в таблицу, а сам расчет проходит только для одного элемента.

3.4 Конструктивная увязка элементов деталей

Расчет параметров для соединения включает в себя проработку всех элементов детали между собой. Кроме того, для гнутых деталей выполняется расчет радиусов скругления, для профильных деталей определяется сам по себе профиль.

В пояснения обязательно нужно включить учет конструктивных элементов типа отбортовка, подсечка и прочее. Необходимо также описать образованные зазоры. Для подсечек зазор от детали составляет 2-3 мм, для стрингерных вырезов 4-5 мм от бортов и 5-6 мм по высоте. В остальном зазоры должны соответствовать требованиям надежности конструкции и сочленяемости деталей (детали не должны в рамках своих допусков врезаться друг в друга).

Отдельно необходимо уделить внимание подгонке бортов под заклепки. Данный параметр определяется перемычкой детали.

Перемычка – это расстояние от центра крепежа до края детали. Перемычка должна учитываться в две стороны от центра. По второй стороне принимается край скругления, ребро конструктивного элемента и т.д. Перемычка для алюминиевых сплавов составляет $2d_3+1$, а для стальных и титановых сплавов $1,5d_3+1$. При пересечении деталей поперечного набора с продольным или наоборот перемычка от края пересекаемой детали до центра отверстия составляет $3d_3$.

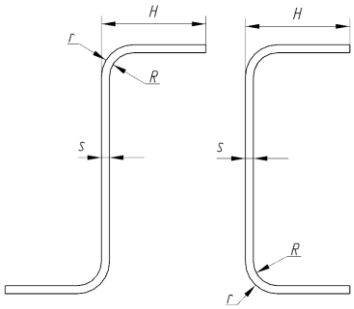
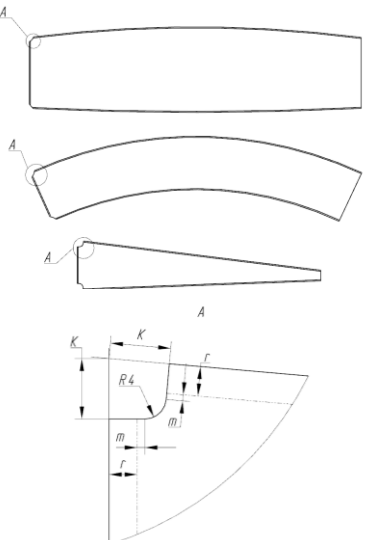
Данные по конструктивным элементам брать из ГОСТ 17040-80, ОСТ 1 52468-80, ОСТ 1 03948-79, ОСТ 1 03668-90 и т.д.

Основные данные для проведения расчетов представлены в таблице 3.2.

Следует учитывать, что схемы увязки параметров могут отличаться. Для стенок, которые выполнены без стыка обшивкой следует рассматривать более простую форму.

Таблица 3.2 – Данные для конструктивной увязки деталей узла

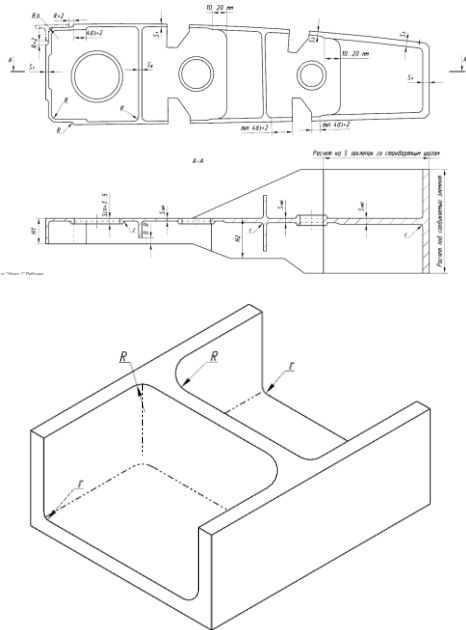
№ п/п	Эскиз	Элемент	Расчет
1	2	3	4

1.		<p>Радиус листовой нервюры/ шпангоута/ стенки</p>	<p>Рассчитывать по ГОСТ 17040-80 $R = i \times C \times s$ где: i – коэффициент сгиба (табл. 1 ГОСТ) кромки брать незачищенные C – поправочный коэффициент (берем равным 1) s – толщина листа $r = R + s$</p>
		<p>Высота борта листовой нервюры/ шпангоута/ стенки</p>	<p>$H = 4d_3 + 2 + R + s =$ $4d_3 + 2 + r$</p>
2.		<p>Угловой вырез в листовых деталях</p>	<p>Угловые вырезы необходимы, когда гибка бортов выполняется со сменой траектории. $K = r + m + 4$ m – прямолинейный участок между скруглений: для толщины до 1,5 мм – 1 мм, толщины от 1,5 мм и больше – 2 мм. Радиус 4 обусловлен применяемой фрезой. Иногда могут применять фрезу с большим или меньшим диаметром</p>

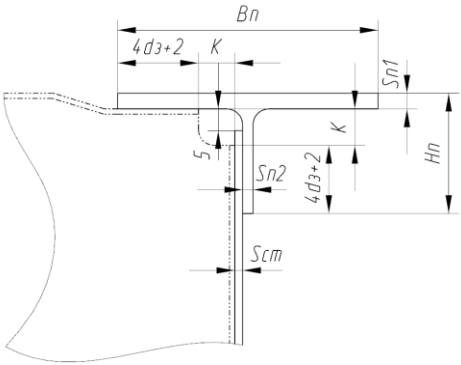
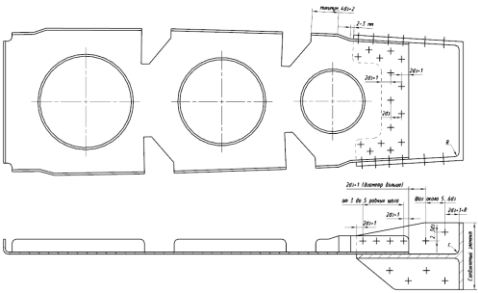
Продолжение таблицы 2.3 – Данные для конструктивной увязки деталей узла

1	2	3	4
3.		Фрезерованный лонжерон, стенка	$B = s_1 + 2 \times B_2$ $B_2 = 4d_3 + 2 + K$ $B_1 = 4d_3 + 2 + K + s_1$ <p>В случае если к лонжерону ставится деталь без выреза или не ставится вообще расчет B_1 имеет следующий вид:</p> $B_1 = b + R_i + s_1$ <p>Аналогично можно рассчитать одну из сторон B. Данный расчет может подходить в случаях ступенчатого борта. Большая ступень используется под соединение с другими деталями, меньшая в целях экономии массы – между элементами</p>

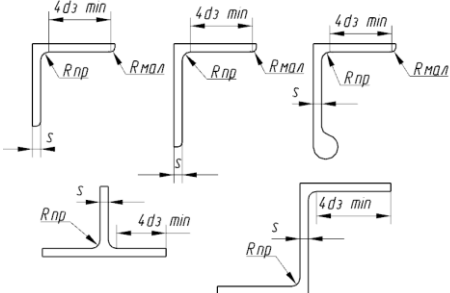
Продолжение таблицы 2.3 – Данные для конструктивной увязки деталей узла

1	2	3	4
4.		<p>Силовые детали поперечного набора (фрезерованные)</p>	<p>Как правило фрезерованные силовые детали выполняют с переменной толщиной. Толщину увеличивают ближе к источнику дополнительного нагружения. Само по себе утолщение проходит в три этапа. Толщина меняется как на стенке, так и на бортах. В случае малого расстояния один из переходов толщин можно пропустить (в два этапа)</p> <p>Расчет:</p> <p>H_1 рассчитывается под один ряд заклепок. H_2 и H_3 под шахматный двухрядный или трехрядный</p> <p>Следовательно: $H_1 = Sct_1 + r + 4d_3 + 2$ $H_2 = H_1 + 2d_3$</p> <p>На H_3 будет шов от краев, остальное пространство пустое или иногда третий шов.</p> <p>R относится к вертикальным ребрам и равен 6...12 мм r относится к горизонтальным ребрам и равен 3...4 мм</p> <p>В самой конструкции могут быть дополнительные вырезы, отверстия или ребра жесткости</p>

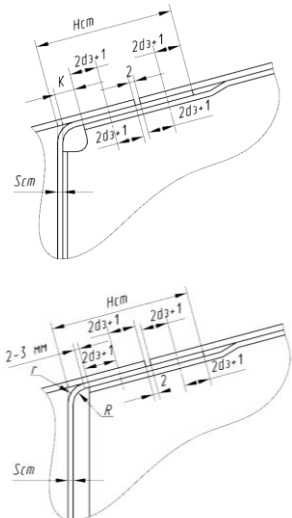
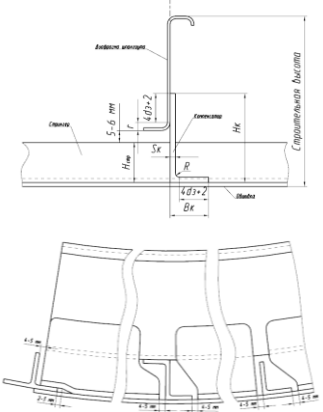
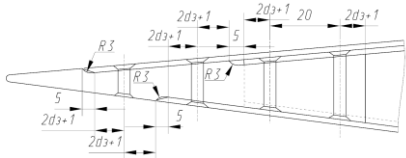
Продолжение таблицы 2.3 – Данные для конструктивной увязки деталей узла

1	2	3	4
5.		Составные лонжероны	$B_{п} = S_{п2} + 2(4d_{з} + 2 + K + S_{ст})$ $H_{п} = S_{п1} + 4d_{з} + 2 + K$ <p>Полка подбирается по: Тавр – ГОСТ 13622-91 Уголки – ГОСТ 13737-90 и ГОСТ 13738-91 Данные значения указывают на минимальные размеры полки. При подборе профиля можно взять размеры больше. Если профиль в каждую сторону больше до 5 мм – ставят профиль больших размеров. Больше уже обрезают Пример: Размер $B_{п} = 56$ мм. По ГОСТ подобран профиль 65 мм. Можно взять размер 65. Если 70 мм, то с двух сторон отрезают по 7 мм.</p>
6.		Силовые детали поперечного набора (с фитингом)	<p>В частях самолета с небольшой общей нагрузкой не имеет смысла ставить фрезерованные целиком силовые детали. Как правило это приводит только к излишнему удорожанию производства. При таких обстоятельствах листовой элемент делают чуть толще, а в области приложения нагрузки ставят усиленные фитинг.</p>

Продолжение таблицы 2.3 – Данные для конструктивной увязки деталей узла

1	2	3	4
7.		Силловые детали поперечного набора (составные)	<p>При условии больших нагрузок, но также в целях экономии силловые нервюры могут быть усилены соединительными поясами по контуру. В месте большего приложения нагрузки ставится фрезерованный фитинг</p>
8.		Подбор стрингеров	<p>Параметры R_{np} R_{mal} и s подбираются по ГОСТ соответствующего профиля и учитываются в итоговую ширину полки.</p> <p>Значения размеров под заклепку указаны при минимальном расчете. Эти значения могут быть превышены не более чем на 3 мм.</p> <p>Профиль стрингера выбирается по: ГОСТ 13737-90 – уголок равнополочный; ГОСТ 13738-91 – уголок неравнополочный; ГОСТ 13617-97 – уголок с бульбой; ГОСТ 13622-91 – тавр; ГОСТ 13620-90 – Z-образный профиль</p>

Продолжение таблицы 2.3 – Данные для конструктивной увязки деталей узла

1	2	3	4
9.		<p>Расчёт параметров стенок, на которых образован стык и под которые заходит деталь</p>	<p>Расчет в первом случае подразумевает наличие выреза, во втором стойки.</p> <p>Первый случай: $H_{ст} = K + 8dz + 4 + 2 + S_{ст}$</p> <p>Второй случай: $H_{ст} = 8dz + 4 + 2 + S_{ст} + R + 2 \dots 3$</p> <p>Значение $2 \dots 3$ мм зависит от длины подставляемой детали. На длину больше 600 мм нужно брать 3. Менее 2</p>
10.		<p>Компенсатор</p>	<p>Высоты компенсатора определяется примерно из тех же соображений, что и стрингерный вырез. Под разные стрингеры отличия будут минимальны.</p> <p>$H_{к} = H_{стр} + 4dz + 2 + r + 5 \dots 6$</p> <p>$V_{к} = 4dz + 2 + R + S_{к}$</p>
11.		<p>Нож</p>	<p>Все данные значения под нож имеют свою сила для разных сечений без особых изменений. Фаска на обшивке к ножу выполняется в соотношении 1:3.</p> <p>В случае отсутствия заклепки к нервюре убирают шаг 20.</p> <p>В случае добавление заклепки шаг также составит 20. По обшивке можно поставить два ряда заклепок. Расстояние между рядами равно $2dz$</p>

Продолжение таблицы 2.3 – Данные для конструктивной увязки деталей узла

1	2	3	4
12.		Фитинги к продольному набору	<p>Такие фитинги используют в местах, где продольные элементы (стрингеры) имеют разрыв. Такие места необходимо усиливать в целях лучшей передачи нагрузок. Такой фитинг похож на кницу, но несколько толще и имеет дополнительную поверхность соединения к обшивке. Часто их фрезеруют</p>
13.		Кница	<p>Кница как правило представлена уголком, передающим нагрузки. Может быть штампованным из листа или отрезанным от профиля уголком. Кница должна идти в высоту к поперечному элементу. Минимум на две заклепки. При больших нагрузках 3 или 4. К стрингеру в зависимости от нагрузок можно одну или две заклепки. Перемычка имеет стандартный вид 2dз. Шаг между заклепками 20 мм</p>

Продолжение таблицы 2.3 – Данные для конструктивной увязки деталей узла

1	2	3	4
14.		Стойка	<p>Как правило для компенсации расстояния по поперечному элементу, один из бортов заменяют на отдельно клепаемую стойку. Стойка подбирается по ГОСТ профилей. Толщина стойки должна соответствовать толщине листовой детали или не на много превышать. Крепеж ставится того же диаметра, что и по другим бортам. Расчёт проводится соответственно.</p>

Перечень используемых сокращений

БО	– базовое отверстие
БТК	– бюро технического контроля
БЧ	– без чертежа
ВСГ	– верхняя строительная горизонталь
ВЗ	– воздухозаборник
ВО	– вертикальное оперение
ГО	– горизонтальное оперение
Дет.	– деталь
Дист.	– дистанция
Докум.	– документ
Закр.	– закрылок
Зенк.	– зенковка, зенковать
ЗШП	– заготовительно-штамповочное производство
Изв.	– извещение
Изм.	– изменение
ИО	– инструментальное отверстие
КИМ	– контрольно-измерительная машина
КИМ	– коэффициент использования материала
КМ	– клепальный молоток
Кол.	– количество
КП	– клепальный пресс
Кр-н	– кронштейн
КСС	– конструктивно-силовая схема
КФО	– координатно-фиксирующее отверстие
КЭМ	– конструктивный электронный макет
Лев.	– левый
ЛБ	– левый борт
Л-н	– лонжерон
МГ	– мотогондола
ММ	– математическая модель
НО	– направляющее отверстие
НП	– направление полета
Н-ра	– нервюра
НСГ	– нижняя строительная горизонталь
НЧК	– носовая часть крыла
ОП	– оперение
Ось л-на	– ось лонжерона
Ось н-ры	– ось нервюры
Ось стр.	– ось стрингера
ОСС	– ось симметрии самолета
Ось С	– ось симметрии

Ось шп.	– ось шпангоута
ОСБ	– отверстия под стыковые болты
Отв. Ø	– отверстие (значок Ø ставится от 8 мм)
ПГО	– переднее горизонтальное оперение
ПД	– пневматическая дрель
ПКП	– переносной клепальный пресс
Плоск.	– плоскость
ПСС	– плоскость симметрии самолета
Поверхн.	– поверхность
Поз.	– позиция
Прав.	– правый
Пр. Б	– правый борт
ПУ	– программное управление.
ПШО	– плазово-шаблонная оснастка
РВ	– руль высоты
РЖ	– ребро жесткости
РП	– руль поворота
СГФ	– строительная горизонталь фюзеляжа
Сеч.	– сечение
СО	– сборочное отверстие
СП	– сборочное приспособление
СПК	– строительная плоскость крыла
С-т	– самолет
Станд.	– стандарт, стандартный
Стр.	– стрингер
ТБ	– технологический болт
Теор.	– теоретический
ТЗ	– техническое задание
ТИ	– технологическая инструкция
ТК	– теоретической контур
ТО	– технологическое отверстие
ТСО	– технологические сборочные отверстия
ТТ	– технические требования
ТУ	– технические условия
ТхЭМ	– технологический электронный макет
ТЭМ	– теоретический электронный макет
УБО	– установочные базовые отверстия
УП	– управляющая программа.
Ф-ж	– фюзеляж
Ц-н	– центроплан
ШВК	– шаблон внутреннего контура
ШГ	– шаблон гибки
ШКС	– шаблон контура сечения

ШО	– шпилечное отверстие
ШОК	– шаблон обрезки кондуктор
ШР	– шаблон развертки
Шп.	– шпангоут
ЭМД	– электронный макет детали
ЭМосн	– электронный макет оснастки.
ЭМСП	– электронный макет сборочного приспособления.

Список используемых источников

1. Технология самолетостроения. Учеб. пособие для авиац. вузов/ Под ред. А.Л. Абибова. - М.: Машиностроение, 1982. – 551 с.
2. Барвинок В.А. Основы технологии производства летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1994. – 300 с.
3. Крысин В.А. Технологическая подготовка авиационного производства. – М.: Машиностроение, 1984. – 200 с.
4. Бородкин А.А. Методы обеспечения взаимозаменяемости в самолетостроении. М.: Изд. МАИ, 1993.
5. Бойцов В.В. и др. Сборка агрегатов самолета: Учеб. Пособие для студентов, обучающихся по специальности «Самолетостроение»/ В.В. Бойцов, Ш.Ф. Ганиханов, В.Н. Крысин. – М.: Машиностроение, 1988.- 152 с.
6. Горбунов М.Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве самолетов: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
7. Технология сборки самолетов: Учебник для студентов авиационных специальностей вузов/ В.И Ершов, В.В. Павлов, М.Ф. Каширин, В.С. Хухорев. – М.: Машиностроение, 1986. - 456 с.
8. Григорьев В.П. Сборка клепаных агрегатов самолетов и вертолетов. Уч. пособие. – М.: Машиностроение, 1975. - 344 с.
9. Леньков С.С., Орлов С.Т. Шаблоны и объемная оснастка в самолетостроении. - М.: ГНТИ Оборонгиз, 1963. - 400 с.
10. Грошиков А. И., Малафеев В.А. Заготовительно-штамповочные работы в самолетостроении. - М.: Машиностроение. – 1976. – 440 с.
11. Современные технологии авиастроения / А.Б. Братухин, Ю.Л. Иванов, Б.Н. Марьин и др.; Под ред. А.Г. Братухина, Ю.Л. Иванова. – М.: Машиностроение, 199. – 832.
12. Григорьев В.П., Ганиханов Ш.Ф. Приспособления для сборки узлов и агрегатов самолетов и вертолетов. М.: Машиностроение, 1977. 138 с.

Пример оформления титульного листа курсового проекта

Министерство образования Иркутской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Иркутской области
«Иркутский авиационный техникум»
(ГБПОУИО «ИАТ»)

КП.24.02.01.ХХ.ХХХ.ХХ.ПЗ

↓ ↓ ↓
1 2 3

1 – год выполнения работы

2 – номер группы

3 – порядковый номер по журналу

ТЕМА ПО ПРИКАЗУ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Руководитель:

Фамилия И.О.

(подпись, дата)

Студент:

Фамилия И.О.

(подпись, дата)

Выполнено с оценкой

Иркутск 20____

Пример оформления листа задания курсового проекта

Государственное бюджетное профессиональное
образовательное учреждение Иркутской области
«Иркутский авиационный техникум»
(ГБПОУИО «ИАТ»)

УТВЕРЖДАЮ:
Председатель цикловой комиссии
_____ Фамилия И.О.
(подпись)
«__» _____ 20__ г.
(дата)

**ЗАДАНИЕ
на курсовой проект**

**по МДК.03.02 Проектирование узлов, агрегатов и систем летательных
аппаратов, разработка конструкторской документации**

студенту III курса учебной группы С-_____

Фамилия Имя Отчество
(ФИО)

Тема: По приказу

Начало проектирования: «__» _____ 20__ г.
Срок представления к защите: «__» _____ 20__ г.

Руководитель: _____
(подпись, дата) (ФИО)

Фамилия И.О.

Студент: _____
(подпись, дата) (ФИО)

Фамилия И.О.

Иркутск 20__ г.

Техническое задание на выполнение проекта

Целью курсового проекта является приобретение студентами навыков в разработке конструкций авиационных узлов и агрегатов, производства элементов конструкции планера летательного аппарата.

Исходные данные:

- Схема узла.
- Расчетные материалы самолетов на статические нагрузки.
- Перечень стандартных решений для элементов планера самолета.

В результате выполнения курсового проекта необходимо:

- выполнить конструктивно-технологический анализ узла;
- разработать схему нагружения конструкции;
- рассчитать основные элементы конструкции узла на прочность;
- выполнить расчет и подбор крепежных элементов конструкции узла;
- провести анализ конструкции;
- обеспечить геометрическую увязку компонентов узла;
- разработать чертежно-графическую документацию на узел и его 3 детали.

Общие требования:

Практическая часть и текст пояснительной записки должны быть оформлены с соблюдением требований ГОСТ 7.32-2017.

Чертежно-графическая часть курсового проекта оформляется в соответствии с действующими требованиями ГОСТ ЕСКД.

Материалы, представляемые к защите:

- Пояснительная записка в текстовом формате (в электронном и распечатанном варианте).
- Сборочный чертеж узла (формат А1 или А0) файл .pdf.
- Чертежи трёх деталей конструкции узла (формат А4, А3, А2 или дополнительные).

График выполнения курсового проекта (в процентах)

Наименование этапов курсового проекта	Срок выполнения	Объем, %
Разработка ТЭМ и КСС на узел	01.10.2025	2
Расчет силовых элементов планера	24.10.2025	5
Разработка и проектирование конструкции сборочного узла	25.12.2025	20
Разработка и оформление сборочного чертежа	30.01.2026	30
Разработка спецификации к сборочному чертежу	13.02.2026	40
Выполнение 1 части курсового проекта «Разработка конструкции и конструкторской документации»	20.02.2026	50
Выполнение 2 части курсового проекта «Геометрическая увязка конструкции узла»	27.02.2026	60
Разработка чертежа детали 1 из листа	09.03.2026	70
Разработка чертежа детали 2 из профиля	16.03.2026	80
Разработка чертежа детали 3	23.03.2026	90
Введение, заключение, выводы и оформление КП	30.03.2026	100
Защита курсового проекта	31.03.2026 – 14.04.2026	