

## **Классификация элементов основной силовой конструкции лонжеронов крыла, определяющих его долговечность**

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Лонжероны крыльев самолетов транспортной категории являются одними из наиболее ответственных силовых элементов, которые во многом определяют статическую прочность, жесткость, ресурс и живучесть крыла самолета. Кроме своего основного назначения – восприятия поперечной силы и участия в восприятии изгибающего и крутящего моментов. Лонжероны также являются стенками баков-кессонов. На них размещаются элементы топливной системы, системы управления, кронштейны навески механизации крыла и других агрегатов [1 – 4].

Лонжероны крыла представляют собой сборные тонкостенные балки, регулярная часть которых состоит из поясов и стенок, подкрепленных стойками. К зонам нерегулярностей относятся зоны соединений, вырезов и отверстий, монолитных утолщений и усиливающих накладок, галтельных переходов и т.д.

Строительная высота лонжеронов современных самолетов транспортной категории находится в диапазоне от 150 до 1200 мм. По массе лонжероны составляют от 25 до 50% массы крыла, или 4 – 5 % взлетной массы самолета. Количество лонжеронов зависит от конструктивно-силовой схемы и степени нагруженности крыла. Располагаются лонжероны на расстоянии: 15...25% от длины хорды крыла – передний и 60...70% – задний. Это расположение позволяет более равномерно распределить нагрузки между лонжеронами. Кроме переднего и заднего лонжеронов в конструкции кессона крыла некоторых самолетов транспортной категории применяются дополнительные промежуточные лонжероны, расположенные между лонжеронами, которые ограничивают кессон. Расположение лонжеронов и, соответственно, ширина кессона обычно определяются на этапе общего проектирования при аэродинамической компоновке крыла с учетом геометрических параметров механизации передней и задней кромок крыла, обеспечения потребного объема топливных баков [4]. Пояса лонжеронов воспринимают изгибающий момент и работают на растяжение – сжатие, стенки служат для передачи перерезывающей силы и работают на сдвиг. Стойки служат для обеспечения высокого уровня критических напряжений потери устойчивости клетки стенки лонжерона. Соединения стенок с поясами и стойками выполняют заклепочными или болтовыми. На рис. 1 представлен фрагмент сборного лонжерона самолета транспортной категории.

Анализ особенностей конструкции лонжеронов самолетов транспортной категории показал, что основные силовые элементы регулярной части лонжеронов – пояса, стенки, подкрепляющие стойки – выполняются преимущественно из алюминиевых сплавов, таких, как 1161Т, 1973Т2, 1163Т, 1933Т3. Нижние пояса (растянутая зона) изготавливаются из сплавов 1161Т, 1163Т. Эти сплавы имеют меньший предел прочности при растяжении, в то же время они обладают лучшими усталостными характеристиками по сравнению с материалами верхних поясов 1973Т2 (сжатая зона) [3].

Пояса лонжеронов являются геометрически сложными элементами конструкции лонжерона с переменными толщинами по размаху. Их изготавливают из пресованных профилей таврового или уголкового сечения механическим фрезерова-

нием. Соединяются они между собой в местах перестыковки и стыковых узлов с помощью заклепочных и болтовых соединений.

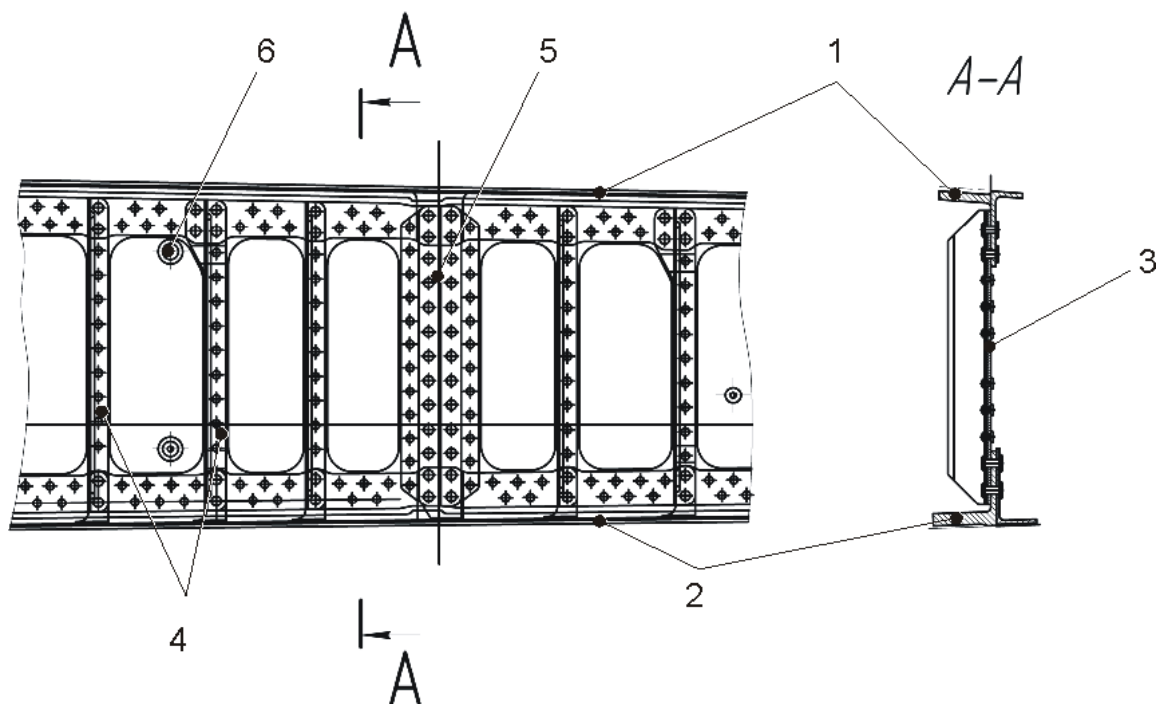


Рис. 1. Фрагмент сборного лонжерона самолета транспортной категории:  
1 – пояс верхний; 2 – пояс нижний; 3 – стенка; 4 – подкрепляющие стойки;  
5 – поперечный стык стенок; 6 – отверстия для штуцера трубопровода топливной системы

При конструировании лонжеронов на этапе эскизного проектирования учитываются прочностные и деформационные характеристики применяемой конструкции, определяются допускаемые напряжения, обеспечивающие заданный ресурс. Лонжерон проектируется в системе кессона. Пояса проектируют, учитывая взаимную связь с панелями. Для элементов конструкции верхней поверхности крыла определяющими является допускаемые напряжения при работе конструкции на сжатие. Допускаемые напряжения в значительной мере зависят от характеристик материала, геометрических характеристик поясов. Для элементов конструкции нижней поверхности крыла в качестве допускаемых принимаются напряжения, обеспечивающие необходимые характеристики статической прочности, заданного ресурса (для современных самолетов он составляет 60000...80000 часов) и живучести конструкции.

Значения изгибающего и крутящего моментов, поперечных и продольных сил изменяются по размаху крыла. Для обеспечения равнопрочности лонжеронов по длине толщину и ширину полки и ребер поясов выполняют переменными по размаху. Толщина полки изменяется от 20 до 3 мм, а толщина ребра – от 15 до 3 мм. Значения ширины полки и высоты ребер поясов лонжеронов находятся в пределах от 20 до 120 мм. Пояса лонжеронов имеют переменный угол малки. В зонах соединений пояса с подкрепляющими стойками, кницами, узлами навески механизации и элементов крепления систем, входящих в конструкцию крыла, высота и толщина вертикального ребра увеличены для компенсации ослаблений, вызванных отверстиями. На рис. 2 представлен фрагмент сборочного чертежа лонжерона, показывающий изменения ширины пояса и высоты стенки по размаху.

На рис. 3 показан характер изменения высоты ребра, нижнего пояса лонжерона крыла. На рис. 4 представлен характер изменения ширины пояса лонжерона крыла на корневом участке.

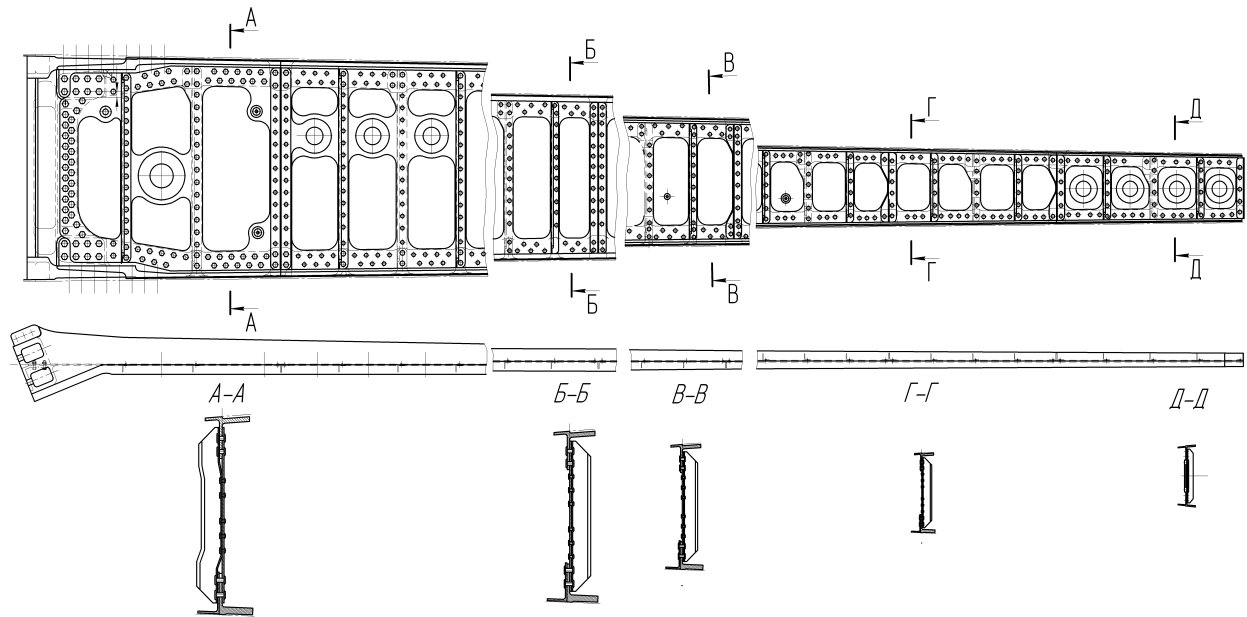


Рис. 2. Фрагменты сборочного чертежа лонжерона

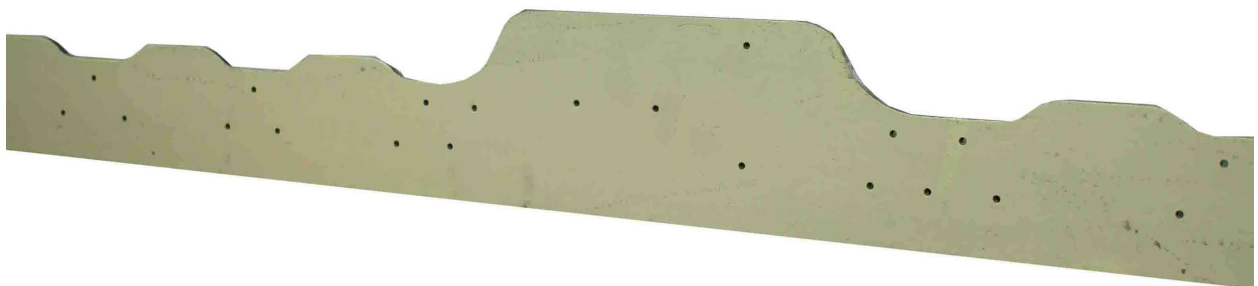


Рис. 3. Характер изменения высоты ребра нижнего пояса лонжерона крыла



Рис. 4. Характер изменения ширины пояса лонжерона крыла на корневом участке

Стенки сборных лонжеронов выполняются из листового материала (алюминиевого сплава 1163Т) механическим или химическим фрезерованием по контуру и толщине. Они имеют монолитные утолщения в зонах продольных и поперечных стыков, вырезов и отверстий, зонах присоединения подкрепляющих стоек, силовых нервюр, присоединений узлов навески агрегатов и систем. На рис. 5 изображен участок сборного лонжерона, где видны утолщения стенки и поясов в зоне установки подкрепляющих стоек.

Толщина стенки изменяется, как правило, в пределах от 0,8 до 8 мм. В регулярной зоне толщина стенки меняется от 1,2 до 3,5 мм. В зоне установки подкрепляющих стоек или кронштейнов в зависимости от их назначения толщина стенки увеличена в 1,25...1,75 раза. Радиусы переходов находятся в пределах от 3 до 5 мм, высота стенок – в промежутке от 0,9 до 0,95 высоты лонжеронов. Для обеспечения минимума массы в стенке выполняют утонения.



Рис. 5. Участок сборного лонжерона

По характеристикам восприятия нагрузок стенками лонжеронов различают стенки, теряющие и не теряющие устойчивость. Проектирование стенок, не теряющих устойчивость, выполняется из условия равенства критических напряжений потери устойчивости клеткой стенки и действующих напряжений при разрушающих нагрузках. При выборе параметров стенок, теряющих устойчивость, исходят из того, что лонжерон после потери устойчивости его стенкой продолжает обеспечивать несущую способность и выдерживать расчетную нагрузку.

Конструкцию стенок лонжеронов выбирают, учитывая коэффициент напряженности  $Q/h_{y0}^2$ , где  $Q$  - поперечная сила,  $h_{y0}$  - высота стенки лонжерона [11]. При значениях:

- $Q/h_{y0}^2 < 0,5$  МПа применяют одну стенку, теряющую устойчивость, подкрепленную стойками;
- $Q/h_{y0}^2 \approx 1,5...4,5$  МПа используют одну стенку, подкрепленную стойками; в этом диапазоне коэффициента напряженности разрушение стоек и стенки происходит одновременно;
- $Q/h_{y0}^2 > 3,0$  МПа применяют двухстеночные конструкции без потери устойчивости;

- $Q/h_{y0}^2 > 6,0$  МПа применяют неподкрепленную стенку; при проектировании лонжеронов самолетов транспортной категории  $Q/h_{y0}^2$  находится в диапазоне 0,5 до 4,5 МПа [3].

Параметры регулярной зоны стенок лонжерона выбирают из условия обеспечения статической прочности под действием разрушающих напряжений.

Подкрепляющие стойки стенок лонжерона изготавливаются из пресованных профилей таврового или уголкового сечения, и дорабатываются механическим фрезерованием. Стойки выполняют с малковками и подсечками. Геометрические параметры стойки выбирают в зависимости от геометрических параметров обслуживаемой зоны стенки, силовых факторов, действующих на стойки, назначения стоек, компоновки крыла. Стойки могут располагаться с той же стороны относительно ребра пояса, что и стенка, или с противоположной стороны. В последнем случае стойка требует подштамповки. В конструкциях лонжеронов современных самолетов выполняют чередование подштампованной и неподштампованной стоек. Устанавливают стойки с шагом от 120 до 200 мм. На рис. 6 представлен участок лонжерона центроплана, на рис. 7 – участок сборного лонжерона в зоне установки подкрепляющих стоек. На рисунках видны подштамповки и подфрезеровки, выполненные на подкрепляющих стойках, а также характер изменения геометрических параметров подкрепляющих стоек.



Рис. 6. Участок лонжерона центроплана

В стенках лонжеронов выполняют вырезы и отверстия для установки элементов конструкции трубопроводов топливной системы, элементов системы управления, кронштейнов навески механизации крыла и других агрегатов. Для обеспечения заданной усталостной долговечности поясов и стенок в зонах отверстий, вырезов, стыков соединений и т.д. потребный уровень напряжений обеспечивают посредством местных утолщений, усиливающих накладок, фрезерованных окантовок, реже – упрочнением потенциально опасных зон механическими и термическими методами.





Рис. 7. Участок лонжерона в зоне установки подкрепляющих стоек

По форме в плане вырезы в стенках лонжеронов выполняются, как правило, круглой, овальной или прямоугольной, со скругленными углами, формы. Размеры вырезов определяются геометрическими размерами элементов конструкции, для которых они выполняются. Расположение вырезов определяют компоновка крыла, силовая схема, уровень нагрузок. При выполнении вырезов их стараются разместить ближе к верхней или средней части стенки – ближе к сжатому поясу [10]. Вырезы для систем и агрегатов топливной системы выполняют круглой формы. Их диаметр находится в пределах от 5 до 180 мм. Вырезы для систем управления выполняют с учетом компоновки крыла, степени восприятия нагрузки, крепежных элементов. Их форма и геометрические размеры определяются размерами элементов конструкции систем управления. На рис. 8 представлены фрагменты чертежей конструктивного выполнения овального [10] и круглого вырезов в стенке лонжерона. На рис. 9 показана установка элементов топливной системы в стенке лонжерона. Для компенсации ослабления стенки в зоне выреза или отверстия выполняют ступенчатые усиления. Площадь сечения в зоне усиления по сравнению с площадью сечения выреза в 1,1...1,4 раза больше, что дает возможность обеспечения требуемых характеристик статической прочности и усталостной долговечности.

На рис. 10 изображены монолитные ступенчатые усиления вырезов в стенке лонжерона крыла, на рис. 11 – конструктивные выполнения монолитных усилений в стенках лонжерона.





Рис. 10. Монолитные ступенчатые усиления вырезов в стенке лонжерона крыла



Рис. 11. Конструктивное выполнение монолитных усиления в стенках лонжерона



Рис. 12. Конструктивное выполнение выреза с комбинированным усилением



В местах утолщений поясов и стенки лонжерона выполняют галтельные переходы. Радиус галтельного перехода находится в промежутке от 3 до 5 мм, в некоторых случаях галтельные переходы заменяются скосами. Это позволяет снизить концентрацию напряжений в зонах переходов сопрягаемых поверхностей [3,4]. На рис. 13 показаны галтельные переходы на стенке лонжерона.

Продольные соединения стенок с поясами, продольные соединения частей стенок между собой и поперечные соединения частей стенок с перестыковочными или усиливающими накладками, а также стенок с подкрепляющими стойками выполняют заклепочными и болтовыми.

Продольные соединения пояса лонжеронов и панелей крыла находятся в условиях растяжения – сжатия, вызванного изгибом крыла, а также передают потоки касательных усилий, возникающие от изгиба и кручения крыла. Эти соединения выполняют, как правило, двух-трехрядными односрезными, при помощи болтов и заклепок.

Для повышения долговечности стыков посадку болтов осуществляют с натягом и осевой стяжкой пакета. В соединениях съемных панелей с поясами лонжерона применяют болты с анкерными гайками, устанавливаемые по скользящей посадке или по посадкам с зазором.



Рис. 13. Галтельные переходы на стенке лонжерона

В соединениях стенки с поясами лонжеронов или в продольных соединениях стенок между собой крепежные элементы работают на срез от действующего потока касательных усилий, соединяемое ребро пояса и стенка участвуют совместно с поясами в восприятии осевых нагрузок, вызванных действием изгибающего момента. Крепежные элементы располагаются в шахматном порядке с шагом от 4 до 6 диаметров и между рядами от 2,5 до 4 диаметров.

В соединении стенки с подкрепляющими стойками крепежные элементы работают на срез и на отрыв. Усилия отрыва и среза возникают при потере устойчивости стенкой и при наличии давления топлива внутри кессонной части крыла. При изготовлении подкрепляющих стоек из профиля уголкового сечения соединение получается однорядным. Используются заклепки диаметром 3,5 - 5 мм с шагом от 5 до 7 диаметров заклепки. Обеспечивается перемычка в лапке стойки от 2 до 2,5 диаметра.

В зоне соединения пояса, стенки и подкрепляющей стойки крепежные элементы более нагружены, чем вне стоек. Этим объясняется увеличение их диаметра в зоне присоединения стойки к поясу или замена заклепок болтами. Выполняется увеличение ширины лапки стойки, а в некоторых случаях и высоты ребра пояса для размещения потребного количества крепежных элементов. Для сохранения регулярности шва стойки изготавливают из профиля таврового сечения,

тем самым получают двухрядное соединение стойки в зоне присоединения поясов. В зоне, свободной от поясов, стойка фрезеруется до уголкового сечения. На рис. 14, 15 представлены фрагменты сборных лонжеронов, показывающих соединение поясов лонжерона и стенки с подкрепляющими стойками.



Рис. 14. Соединение пояса лонжерона и стенки с подкрепляющей стойкой



Рис. 15. Соединение поясов лонжерона стенки и подкрепляющих стоек заклепочным и болтовым соединениями

Поперечные соединения частей стенок между собой (рис. 16) и соединения стенок лонжерона со стыкующими профилями или усиливающими накладками передают потоки касательных усилий со стенок на стыкующие элементы. Дополнительно поперечные соединения нагружаются нормальными усилиями, вызванными действием изгибающего момента. Вектор нагрузки от потока касательных усилий направлен вдоль рядов крепежных элементов, а от действия изгибающего момента - вдоль продольной оси отсека. Поперечные соединения выполняют, как правило, односрезными. При толщинах листов, из которых выполнена стенка, до 1,2 мм соединение частей стенок выполняется внахлестку с подштамповкой одного из них. При больших толщинах применяется перестыковка с местным усилением стенки с помощью накладки. В качестве крепежных элементов используются заклепки диаметром от 3 до 6 мм с шагом в ряду от 5 до 9 диаметров, между рядами – от 3 до 7 диаметров. В накладке и в стыкуемых частях стенки выполняют перемычку не менее двух диаметров.

Для увеличения жесткости зона стыка подкрепляется стойкой. На рис. 16 представлен фрагмент сборочного чертежа сборочного лонжерона в зоне поперечного стыка стенок

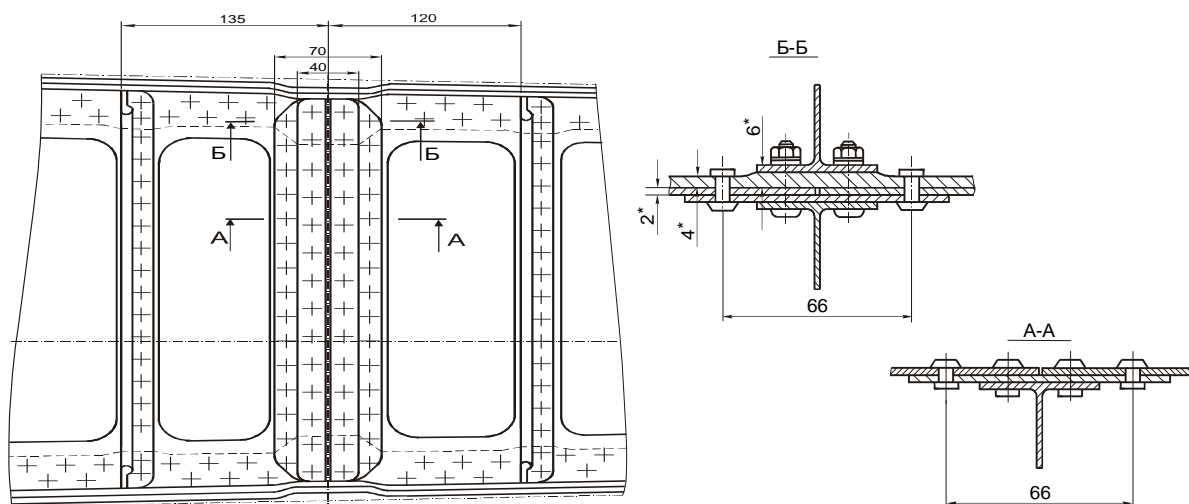


Рис. 16. Фрагмент сборочного чертежа сборочного лонжерона в зоне поперечного стыка стенок

В соединении стенки с усиливающими накладками крепежные элементы работают на срез и отрыв. Форма усиливающей накладки чаще зависит от формы выреза и компоновочных возможностей. Для присоединения усиливающей накладки используются заклепки диаметром 3,5 - 5 мм с шагом от 5 до 10 диаметров заклепки, расстояние между рядами – от 3 до 9 диаметров заклепки.

При изготовлении деталей сборного лонжерона обеспечивается шероховатость обрабатываемых поверхностей, соответствующая разряду  $R_z20$ . Разделка отверстий под крепежные элементы соответствует классам точности Н7 и Н9 и разряду шероховатости  $R_z1,25$ .

В качестве крепежных элементов в соединениях сборных лонжеронов используются заклепки, болты и болт-заклепки. Выбор типа, нормали и диаметра крепежных элементов проводят из условий обеспечения заданной статической прочности, усталостной долговечности, живучести, герметичности. Для обеспечения долговечности и герметичности соединений применяют высокоресурсные заклепки с компенсатором. Для обеспечения более равномерного радиального натяга по высоте пакета, используют клепку повышенным давлением и клепку стержнями, а также постановку болтов с радиальным натягом до 1,2% диаметра болта. В случае применения болтов кроме равномерного радиального натяга реализуется большая осевая стяжка пакета.

Болтовые соединения имеют более высокие ресурсные характеристики, чем заклепочные, однако считаются менее технологичными. Применяют анодированные заклепки из алюминиевых сплавов В65. Для изготовления болтов применяются сталь 30ХГСА, титановый сплав ВТ16, а также сплавы 16ХСН, 14Х17Н2 и др.

Все детали конструкции лонжеронов, выполненные из алюминиевых сплавов, анодируют, вне зоны топливных баков дополнительно покрывают грунтом (грунт ФЛ-086-204 ТУ 16302-79, грунт ЭП-0214 ТУ 6-10-2141-88, грунт ХП-0206 ТУ 6-10-1934-89).

Герметизацию соединений выполняют поверхностной и внутришовной при помощи герметиков, резиновых лент и прокладок специального профиля. Герметизацию соединений в лонжеронах, входящих в баки-кессоны, выполняют при помощи герметиков У-30МЭС-5М, УТ-32НТ, ВИТЭФ-1НТ, ВГФ-2. Для внутришовной герметизации болтовых и заклепочных соединений в лонжеронах применяются герметики У-2-28НТ, УТ-32НТ, уплотнительная лента У-20А. При выполнении сбо-

ручных операций клепку заклепок выполняют на прессе, а в труднодоступных местах - ручным многоударным инструментом в соответствии с инструкцией завода-изготовителя. Постановку болтов и затяжку гаек строго регламентируют.

В результате анализа относительных параметров лонжеронов самолетов транспортной категории установлено следующее:

- отношение расстояния между подкрепляющими стойками к высоте лонжерона – 0,2...0,65 (наиболее частый диапазон – 0,31...0,35);
- отношение расстояния между подкрепляющими стойками к толщине стенки – 50...86 (наиболее частый диапазон – 50...65);
- отношение высоты стенки в лонжероне к ее толщине – 80...435 (наиболее частый диапазон – 90...150);
- отношение толщины ребра пояса к толщине стенки – 1,1...2,6 (наиболее частый диапазон – 1,1...1,5);
- толщина присоединяемого ребра стойки – 0,6...2,0 толщины стенки (наиболее частый диапазон – 0,8...1,5).

Целью данной статьи является разработка классификации основных зон вероятного усталостного разрушения.

На основе анализа конструкции лонжеронов выделим основные зоны вероятного усталостного разрушения:

1. Регулярные зоны конструкции лонжеронов: продольные заклепочные или болтовые соединения полков лонжеронов с панелями, продольные заклепочные или болтовые соединения ребер полков лонжеронов со стенками, продольные заклепочные или болтовые соединения стенок лонжеронов.
2. Нерегулярные зоны конструкции лонжеронов: поперечные болтовые фитинговые стыки поясов лонжеронов с центропланом, поперечные стыки стенок лонжеронов, болтовые и заклепочные поперечные соединения подкрепляющих стоек со стенками и ребрами поясов.
3. Зоны функциональных вырезов и отверстий в стенках лонжеронов: врезы и отверстия в стенках лонжеронов с окантовкой в клепаном варианте, врезы и отверстия в стенках лонжеронов с окантовкой в монолитном варианте.

Перечислим основные концентраторы напряжений в силовых элементах конструкции лонжеронов:

1. Свободные отверстия (ненагруженные отверстия в конструкции лонжеронов, заполненные крепежными элементами, ненагруженные отверстия в конструкции лонжеронов, не заполненные крепежными элементами).
2. Нагруженные отверстия (нагруженные отверстия, не заполненные крепежными элементами в поясах, стенках и подкрепляющих стойках лонжеронов, нагруженные сдвигом; нагруженные отверстия, не заполненные крепежными элементами в поясах, стенках лонжеронов, нагруженные продольно-поперечным изгибом; нагруженные отверстия, заполненные крепежными элементами в поясах, стенках и подкрепляющих стойках лонжеронов, нагруженные сдвигом; нагруженные отверстия, заполненные крепежными элементами в поясах, стенках лонжеронов, нагруженные продольно-поперечным изгибом).
3. Комбинированно нагруженные отверстия (нагруженные отверстия, не заполненные крепежными элементами в поясах, стенках и подкрепляющих стойках лонжеронов, нагруженные комбинацией усилий сдвига и изгиба; нагруженные отверстия, заполненные крепежными элементами в поясах, стенках и подкрепляющих стойках лонжеронов, нагруженные комбинацией



усилий сдвига и изгиба; комбинация отверстий в стенках лонжеронов, нагруженных сдвигом с расположенными рядом вспомогательными заполненными отверстиями.

4. Отверстия фитингов, нагруженные болтами, работающими на растяжение и изгиб.

5. Радиусные переходы и галтели (радиусные переходы, галтели стенок лонжеронов находящиеся в условиях сдвига; радиусные переходы, галтели поясов лонжеронов, находящиеся в условиях продольно-поперечного изгиба; радиусные переходы, галтели стенок лонжеронов, находящиеся в условиях комбинации нагружения сдвига и изгиба).

6. Зоны фреттинг-коррозии (зоны соединений поясов со стенками; зоны соединений подкрепляющих стоек со стенками; зоны соединений поясов с подкрепляющими стойками; зоны перестыковки поясов; зоны соединений стенки; зоны усиления вырезов в стенках с приклепанными усиливающими накладками; зоны присоединений кронштейнов узлов установки элементов конструкции, которые осуществляют передачу сосредоточенных сил).

Разработанные ранее методы выбора геометрических параметров перечисленных зон конструктивных нерегулярностей элементов силового набора и зон соединений в достаточной мере представлены в отечественных и зарубежных источниках [2]. На основе этих методов проводится проектирование основных силовых элементов конструкции лонжеронов крыльев современных самолетов и их соединений. Однако методы выбора геометрических параметров в зоне вырезов и отверстий в стенке лонжерона в отечественной зарубежной литературе отражены недостаточно. Сложные условия работы элементов конструкции в зонах вырезов и отверстий требуют разработки новых методов выбора конструктивно-технологических решений, обеспечивающих заданный ресурс.

Актуальным является прогнозирование усталостной долговечности зон вырезов и отверстий. Назрела необходимость в создании методов выбора геометрических параметров, которые обеспечат долговечность конструкции в зоне вырезов, превышающую долговечность в зоне регулярных соединений лонжерона с панелями. Для проверки известных методов, разработки и обоснования новых, более совершенных, необходимо провести экспериментальные исследования усталостной долговечности натуральных образцов конструкций лонжеронов с вырезами и отверстиями в стенках [10] и компьютерных моделей (аналитических эталонов отсеков лонжерона), созданных с помощью компьютерных интегрированных систем CAD/CAM/CAE в CAE- системах.

Для решения поставленной задачи целесообразно выполнить исследования усталостной долговечности зон вырезов и отверстий в стенках компьютерных моделей, созданных на основе образцов отсеков лонжерона крыла современного самолета, представленных в работе [10], и провести сопоставление результатов с полученными при экспериментальных исследованиях натуральных образцов отсеков лонжеронов.

В качестве расчетных моделей приняты образцы, выполненные в виде двухконсольных балок с приложенными по краям каждой консоли, распределенными по высоте стенки силами, эквивалентными нагрузкам типового полета. Каждая консоль - это отдельный, в определенной мере независимый, отсек лонжерона. Оба отсека в нагруженных образцах уравнивают друг друга при симметричном нагружении и, таким образом, создают в середине образца жесткую заделку для каждого отсека. На рис. 17 – 21 представлены модели

экспериментальных образцов для исследования долговечности в зоне вырезов и отверстий [10].

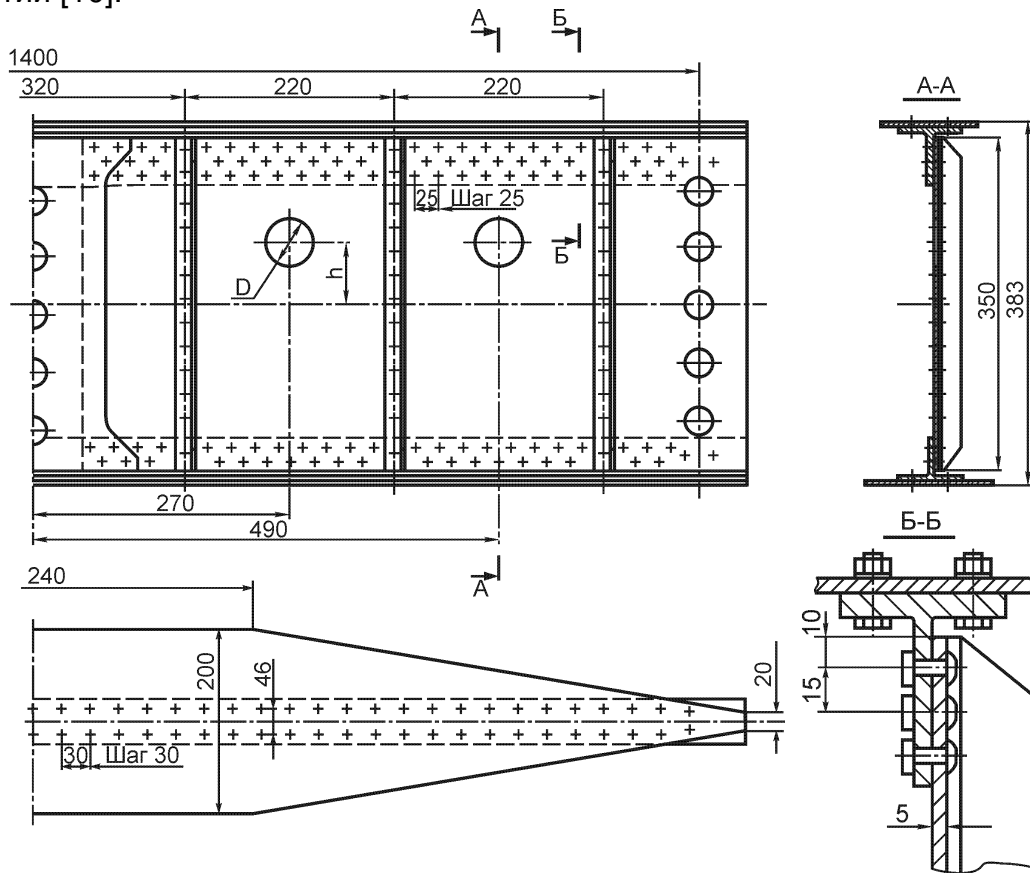


Рис. 17. Модель консоли отсека лонжерона с круговыми неусиленными вырезами в стенке

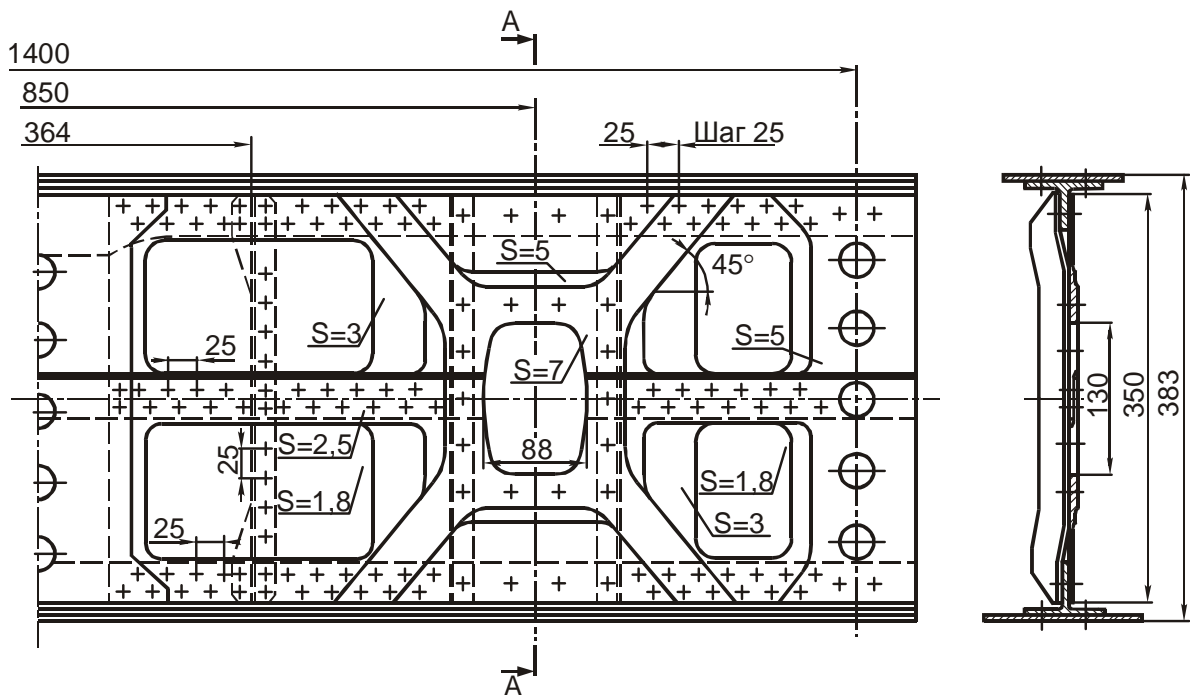


Рис. 18. Модель консоли отсека лонжерона с усиленным вырезом в стенке прямоугольной формы со скругленными углами

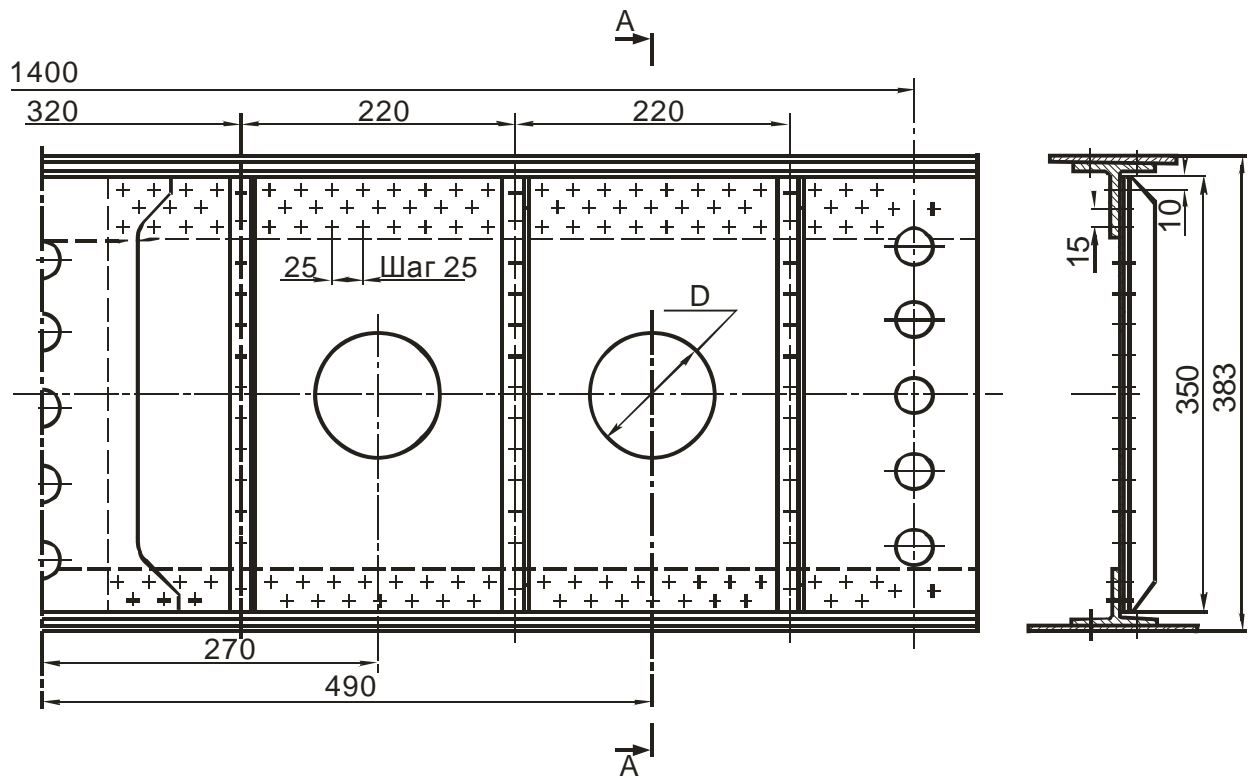


Рис. 19. Модель консоли отсека лонжерона с круглыми неусиленными вырезами в стенке, расположенными по оси симметрии лонжерона

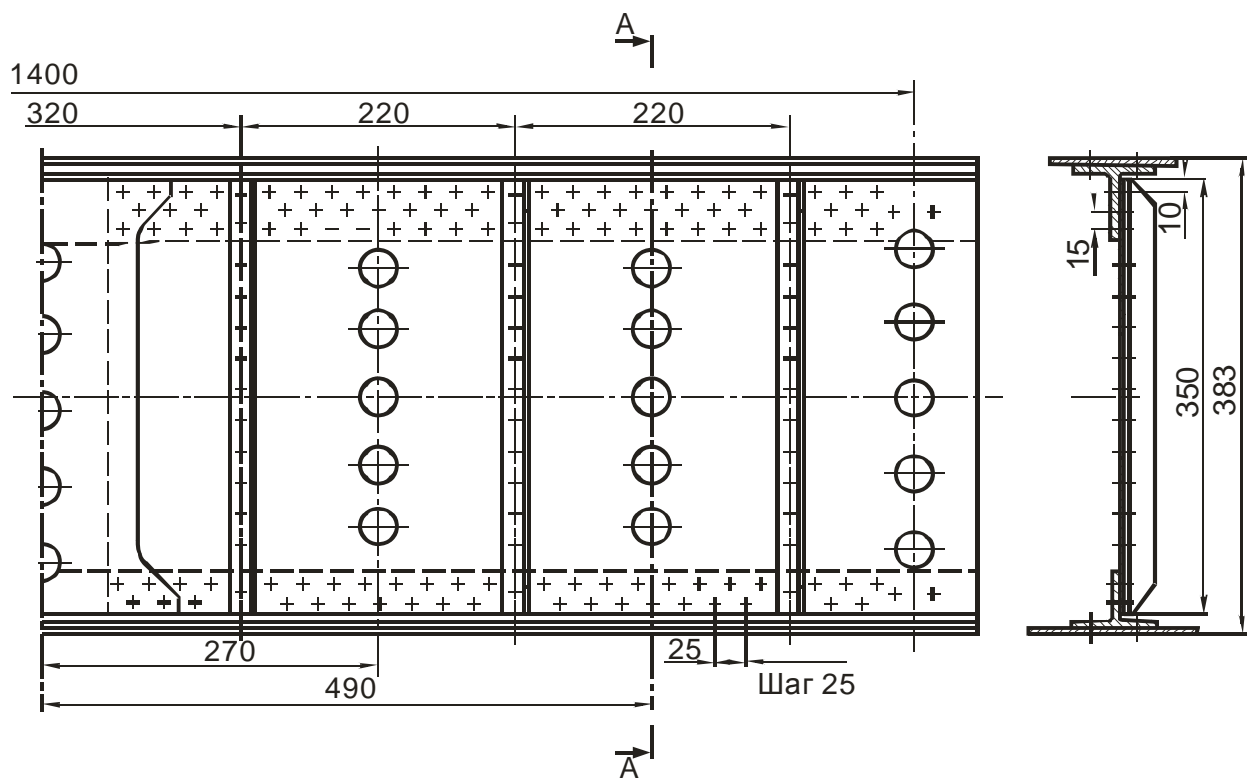


Рис. 20. Модель отсека лонжерона для исследования усталостной долговечности в зонах пяти неусиленных отверстий малого диаметра, расположенных вертикально на одной оси

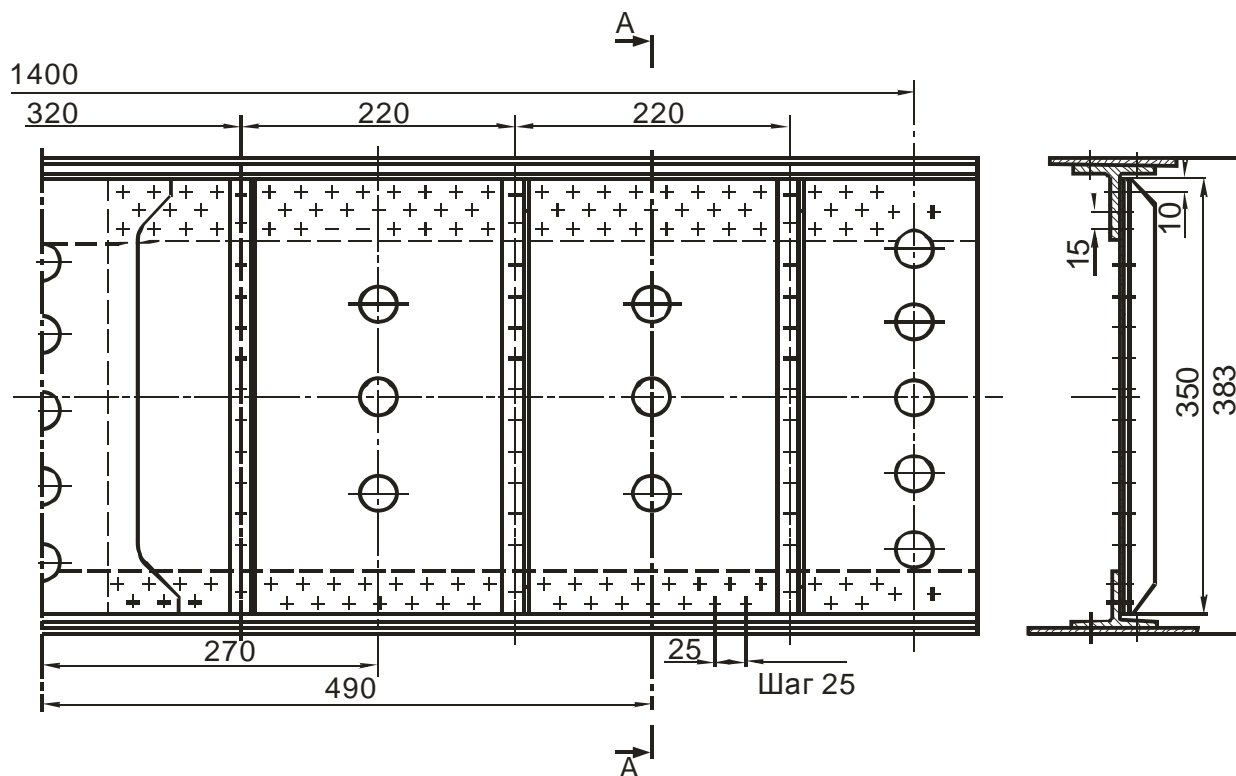


Рис. 21. Модель отсека лонжерона для исследования усталостной долговечности в зонах трех неусиленных отверстий малого диаметра, расположенных вертикально на одной оси.

В данной статье проведен анализ конструктивно-технологических особенностей конструкции сборных лонжеронов. Разработана классификация элементов основной силовой конструкции лонжеронов крыла, определяющих его долговечность. На основе анализа конструктивно-технологических особенностей конструкции сборных лонжеронов разработана конструкция экспериментальных образцов для исследования характеристик локального НДС в зоне вырезов и отверстий.

### Список литературы

1. Метод интегрированного проектирования и компьютерного моделирования крыла пассажирского самолета с помощью интегрированных систем CAD/CAM/CAE/PLM / А.М. Гуменный, В.Н. Николаенко, В.А. Гребеников, А.Н. Петров // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 27. – Х., 2005 – С. 8-30.
2. Гребеников А.Г.. Методология интегрированного проектирования и моделирования сборных самолетных конструкций / А.Г. Гребеников. Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2006. – 532 с.
3. Проектирование лонжеронов крыла самолета: учеб. пособие для студентов специальности «Самолеты и вертолеты». / Л.В. Капитанова, В.Н. Николаенко, А.А. Редько, и др. – Х.: Нац. Аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. – 72 с.



4. Проектирование гражданских самолетов: Теории и методы / И.Я. Катырев, М.С. Неймарк, В.М. Шейнин и др.; под ред. Г.В. Новожилова. – М.: Машиностроение, 1991. – 672 с.
5. Василевский Е.Т. Методика назначения допускаемых напряжений для обеспечения заданного ресурса крыла Е.Т. Василевский, В.А. Гребеников // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». Вып. 25(2). Харьков, 2001 – 116-122с
6. Виноградов Е.Я. Проектирование основной конструкции крыла. / Е.Я. Виноградов // Теория и практика проектирования пассажирских самолетов. – М.: Наука. – 1976.– С. 264 – 270.
7. Елькин Е.Ф. Проектирование кессонной конструкции крыла. / Е.Ф. Елькин Е.Ф // Теория и практика проектирования пассажирских самолетов. – М.: Наука. – 1976.– С. 291 – 308.
8. Машиностроение: энциклопедия / Ред.совет: К.В. Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение. Самолеты и вертолеты. Т. IV-21. Проектирование, конструкции и системы самолетов и вертолетов. Кн. 2 / А.М. Матвеевко, А.И. Акмов, М.Г. Акопов и др.; под общ. ред. А.М. Матвеевко. – 752 с.; ил.
9. Авдонин А.С. Расчет на прочность летательных аппаратов: учеб. пособие для высших учебных заведений / А.С. Авдонин, В.И. Фигуровский. М.: Машиностроение, 1985. – 440 с., ил.
10. Гребеников А.Г. Технология исследования усталостной долговечности отсеков сборных лонжеронов с отверстиями и вырезами в стенках А.Г. Гребеников, А.М. Тимченко, С.В. Трубаев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4. – Х., 1999 – С. 253 – 265.
11. Абрамов В.И. Проектировочный расчет на сдвиг тонкостенных балок. / В.И. Виноградов // Теория и практика проектирования пассажирских самолетов. – М.: Наука. – 1976.– С. 270 – 277.
12. Галкин С.И. Система классификации локальных зон элементов конструктивных нерегулярностей планера самолета. / С.И. Галкин // Труды ЦАГИ. – 1979. – Вып. 2018. – С. 3-20.