

**Министерство Высшего и Среднего Специального  
Образования Республики Узбекистан**

Ташкентский Государственный Авиационный Институт

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

для проведения практических работ по курсу:

**“Проектирование конструкций летательных  
аппаратов”**

Ташкент 2003 г.

УДК: 629.735.33.02.01.

Султанов А.Х., Алиакбаров Д.Т. Методические указания к практическим занятиям по проектированию конструкций летательных аппаратов. ТГАИ 2003г.

В соответствии с программой курса “Проектированию конструкций летательных аппаратов” студенты выполняют четыре практических занятия.

Методические указания предназначены для проведения практических занятий со студентами авиакосмического факультета, обучающихся по направлению 5520800 “Авиастроение и ракетно-космическая техника”.

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

При проектировании элементов конструкции самолетов качество проектов при возрастающей их сложности можно улучшить, совершенствуя методы конструирования на основе автоматизации процессов конструирования.

Автоматизация конструирования предопределяется возможностью алгоритмизации задач конструирования. От качества алгоритма зависит не только эффективность использования ЭВМ, но и оптимизация конструкции.

В соответствии с учебным планом и типовой программой курса “Проектирование конструкций самолетов”, предусмотрено проведение практических занятий по 4-м темам. Методическое указание содержит введение, исходные и необходимые справочные данные, варианты заданий и алгоритмы конструирования и проектирования по каждому практическому занятию.

Реализованные на базе составленных алгоритмов программы содержат большой числовой материал, что позволяет использовать их для решения многих вариантов заданий. Из-за ограниченности объема в пособии приводятся алгоритмы задач конструирования и обращение к программам. Программы хранятся на кафедре “Конструкция и проектирование самолетов” в библиотеке прикладных программ. Не все конструктивные решения и методы расчета следует рассматривать как единственно возможные, поскольку авиационные конструкции и методы их расчета постоянно совершенствуются.

Методические указания можно использовать при курсовом и дипломном проектировании.

Методические указания будут способствовать выработке у студентов навыков конструирования при применении как ручных, так и автоматизированных способов конструирования.

Все замечания по данной работе авторы примут с большой благодарностью.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

### ТЕМА: “КОНСТРУИРОВАНИЕ ОДНОРЯДНЫХ И ДВУХРЯДНЫХ ЗАКЛЕПОЧНЫХ ШВОВ”

#### Заклепочные соединения.

Заклепочные соединения широко принимаются в самолетостроении, для неразъемных соединений. Соединение должно быть спроектировано так, чтобы заклепка работала на срез. В случае, если действующая нагрузка вызывает отрыв головки, заклепки заменяют болтами. Заклепочное соединение может быть одно- и двухсрезным. Двухсрезный заклепочный шов по характеристикам усталостной прочности лучше, чем односрезный, в котором заклепка работает не только на срез, но и на изгиб.

Основными параметрами заклепочного шва являются:

- шаг заклепок –  $t$  (мм)
- расстояние ряда заклепок от края листа –  $e$  (мм)
- диаметр заклепок –  $d$  (мм)
- толщина листа –  $\delta$  (мм)
- толщина пакета –  $S$  (мм)

Выбор параметров шва и размеров заклепок проводится в соответствии с условием равно прочности заклёпок и листа обшивки. Как правило, соединения должны выполняться прессовой клёпкой. Ударная ручная клёпка пневмомолотками допускается для заклёпок диаметром до 4 мм включительно. Наиболее распространённые типы заклёпок с двухсторонним подходом для плёнки приведены в таблице I. Заклёпки из В65 применяются для клёпки деталей, работающих при температурах до 100°С. Для конструкций, подвергающихся нагреву до 250°С, применяются заклёпки из материала Д19П.

Для силовых швов, не находящихся в потоке, целесообразно применять заклёпки с полукруглыми и плоскими головками. Для основной части внешней поверхности обшивки целесообразно применять потайные заклёпки двух типов: с углом раствора головки 90° и 120°. При толщине обшивки, меньшей высоты головки, применяются заклёпки только с углом 120°.

Недостатком потайных заклёпок является низкая усталостная прочность соединения при работе на знакопеременные циклические нагрузки. Заклёпки потайные с компенсатором и заклёпки с потайной замыкающей головкой (ПЗГ) применяются для клёпки обшивок, обеспечивая соединение с повышенным техническим ресурсом и его герметизацию.

## Расчёт однорядных заклёпочных швов.

По заданной внешней нагрузке и конструктивному виду заклёпочного соединения определяются усилия среза и смятия, действующие на заклёпку и соединяемые элементы. Эти усилия по условию прочности должны быть не больше, чем соответствующие разрушающие усилия.

Расчётная схема представлена на рис.1. Исходные данные для расчёта выбираются в соответствии с вариантом задания из таблицы №2.

Общие условия: материал листа -  
материал заклёпок -

D16T  
B65;

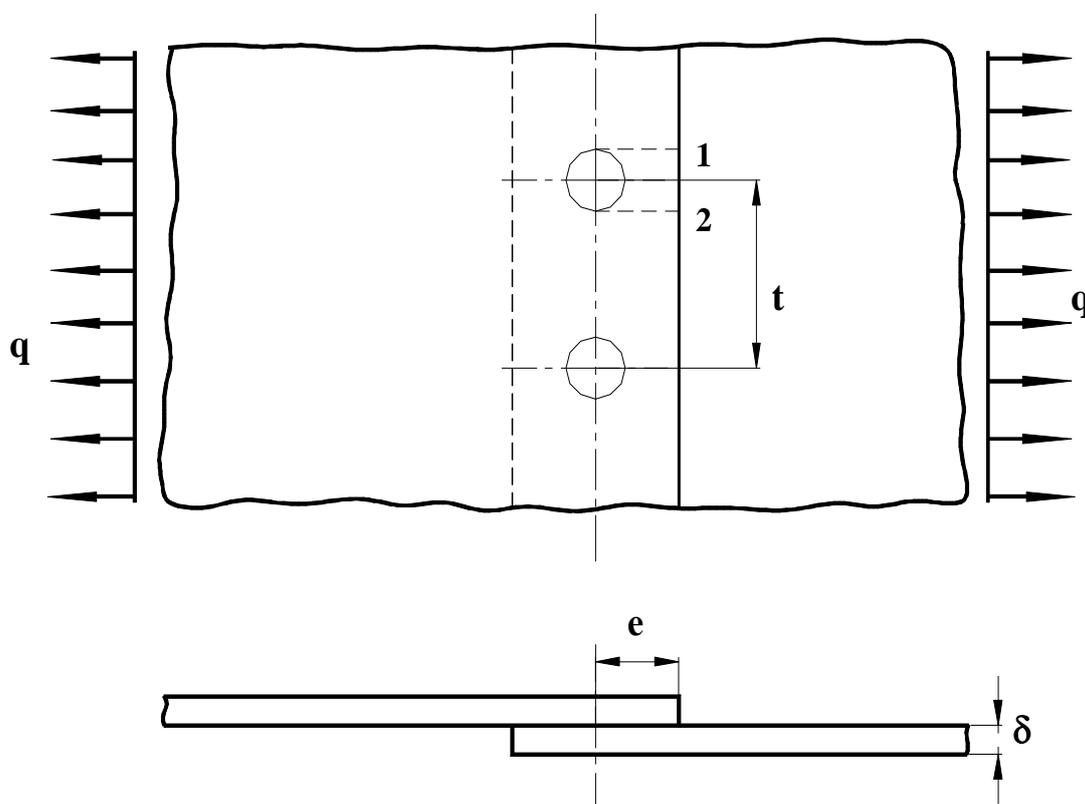
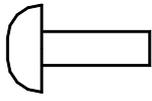
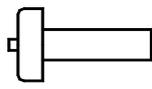
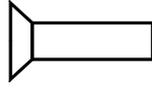
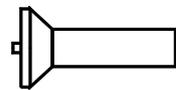
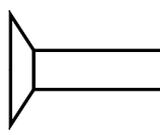
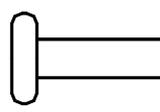


Рис 1.Расчётная схема заклёпочного шва.

## Заклёпки с двухсторонним подходом.

Таблица №1.

| Вид заклепок   | Обозначение   | Материал   | Эскиз  |
|--|---|--|--|
| <p>С плоско - скругленной головкой</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• для ручной клепки:</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• для автоматической клепки:</li> </ul>   | <p>3501А<br/>3504А<br/>3508А</p> <p>ОСТІ-34035-78</p>   | <p>В65<br/>Д19П<br/>1Х18Н9Т</p> <p>В65</p>                                       |   |
| с компенсатором  | <p>ОСТІ-34040-79<br/>ОСТІ-34045-79</p>  | <p>В65<br/>В65</p>   |   |
| <p>С потайной головкой 90°</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• для ручной клепки:</li> <li>• для автоматической клепки</li> </ul> <p>с компенсатором:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• для ручной клепки:</li> <li>• для автоматической клепки</li> </ul> | <p>3531А<br/>3534А<br/>3539А<br/>ОСТІ-34037-78</p> <p>ОСТІ-12020-75<br/>ОСТІ-34039-79</p>   | <p>В65<br/>Д19П<br/>1Х18Н9Т<br/>В65</p> <p>В65<br/>В65</p>                       | <br>  |
| <p>С потайной головкой 120°</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• для ручной клепки:</li> <li>• для автоматической клепки:</li> </ul> <p>с компенсатором:</p> <p>Универсальные:</p> <p>Стержневые:</p>  | <p>3547А<br/>3550А<br/>3552А</p> <p>ОСТІ-34038-78<br/>ОСТІ-34047-80</p> <p>ОСТІ-34043-80<br/>ОСТІ-34044-80</p> <p>ОСТІ-34012-76</p> | <p>В65<br/>Д19П<br/>1Х18Н9Т</p> <p>В65<br/>В65</p> <p>В65<br/>В65</p> <p>В65</p> | <br> |

Порядок расчёта:

1.1. Определяется сила среза приходящаяся на одну заклепку:

$$P_{\text{ср}} = q \times t$$

1.2. Определяется диаметр заклепки из условия среза:

$$P_{\text{ср}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \times n} \cdot \tau_{\text{вз}} ; \quad \text{откуда} \quad d = 2 \times \sqrt{\frac{P_{\text{ср}}}{\pi \cdot \tau_{\text{вз}} \times n}} ;$$

где  $n$ - число плоскостей среза

$\tau_{\text{вз}}$ - допустимое напряжение среза материала заклепки;

$$\tau_{\text{вз}} = (0,6 \dots 0,65) \times \sigma_{\text{в}}$$

1.3. Определяется расстояние заклепки от края листа.

Рассматривая срез листа по двум плоскостям (И2 на рис I) и смятые листа заклепкой, имеем:

$$P_{\text{ср.л}} = 2(e - \frac{d}{2}) \cdot \delta \cdot \tau_{\text{вл}} ;$$

и

$$P_{\text{см}} = d \cdot \delta \cdot \sigma_{\text{см}} ; \quad \text{откуда} \quad d = \frac{P_{\text{см}}}{\delta \cdot \sigma_{\text{см}}}$$

где  $\sigma_{\text{см}} = (1,1 \dots 1,4) \times \sigma_{\text{в}}$  – допустимое напряжение смятия.

Из условия обеспечения равнопрочности листа на срез и смятие находим:

$$\text{При: } P_{\text{ср.л}} = P_{\text{ср}} ; \quad e_1 = \frac{d}{2} + \frac{\pi \cdot d^2}{8 \cdot \delta} \cdot \frac{\tau_{\text{з}}}{\tau_{\text{л}}} \approx \frac{d}{2} \cdot \left( 1 + \frac{\pi \cdot d}{4 \cdot \delta} \right) ;$$

$$\text{При: } P_{\text{ср.л}} = P_{\text{см}} ; \quad e_2 = \frac{d}{2} \cdot \left( 1 + \frac{\sigma_{\text{см}}}{\tau_{\text{л}}} \right) ;$$

Из двух значений  $[e]$  выбирается большее.

По полученному значению потребного диаметра заклепки выбирается вид заклепки в соответствии с таблицей №I.

Исходные данные для расчета однорядных  
заклепочных швов

Таблица №2

|          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |    |    |
|----------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| №        | 1   | 2   | 3   | 4  | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11 | 12 |
| $\delta$ | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1  | 1,2 | 1,2 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2  | 2  |
| t        | 10  | 15  | 12  | 14 | 16  | 15  | 15  | 16  | 15  | 18  | 20 | 25 |
| q        | 6   | 8   | 12  | 15 | 18  | 20  | 22  | 24  | 20  | 22  | 24 | 26 |

|          |     |    |     |     |     |     |     |     |    |    |     |     |
|----------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|
| №        | 13  | 14 | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21 | 22 | 23  | 24  |
| $\delta$ | 0,8 | 1  | 1,2 | 1,2 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2  | 2  | 2,5 | 2,5 |
| t        | 14  | 16 | 15  | 15  | 16  | 15  | 18  | 20  | 25 | 25 | 30  | 35  |
| q        | 18  | 20 | 24  | 20  | 20  | 22  | 24  | 26  | 30 | 35 | 50  | 56  |

В исходных данных задаются:

|  |   |
|--|---|
| <p style="text-align: center;">*</p> <p>распределенная погонная нагрузка -</p> <p style="text-align: center;">*</p> <p>-</p> <p style="text-align: center;">*</p> <p>листа -</p> | <p style="text-align: right;">q (ДаН/мм)</p> <p style="text-align: right;">шаг заклепок</p> <p style="text-align: right;">t (мм)</p> <p style="text-align: right;">толщина</p> <p style="text-align: right;"><math>\delta</math> (мм)</p> |
|--|---|

**Двухрядный заклепочный шов.**

Расчетная схема двухрядного заклепочного шва представлен на рис.2.

**Порядок расчета:**

2.1. Определяется сила среза заклепок на длине одного шага:

$$P_{CP} = t \cdot q$$

2.2. Диаметр заклепок определяется исходя из того, что на длине шага на срез работают две заклепки:

$$P_{CP} = 2 \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \tau_3; \quad \text{откуда:} \quad d = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{CP}}{\pi \cdot \tau_3}};$$

2.3. Расстояние от края листа до оси заклепок определяется с учетом среза листа по четырем плоскостям (1,2,3,4 по рис.2.).

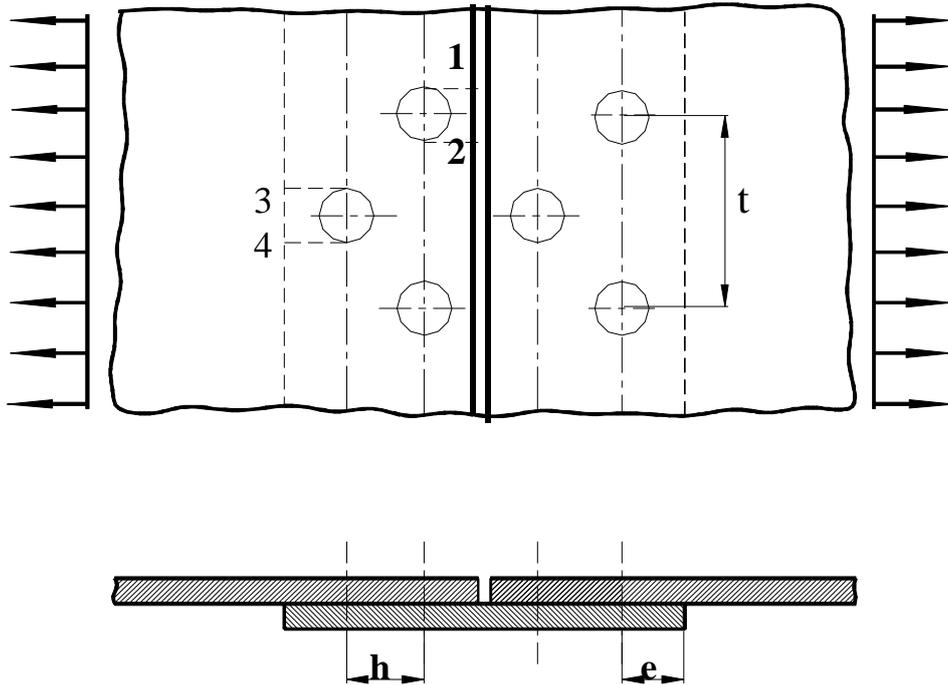


Рис 2. Расчетная схема двухрядного заклепочного шва.

$$P_{\text{срл}} = 4 \cdot \left( e - \frac{d}{2} \right) \cdot \delta \cdot \tau_{\text{л}};$$

Из условия  $P_{\text{срл}} = P_{\text{ср}}$ , получим  $e = \frac{d}{2} \cdot \left( 1 + \frac{\pi \cdot d}{4 \cdot \delta} \cdot \frac{\tau_{\text{с}}}{\tau_{\text{л}}} \right);$

2.4. Расстояние между рядами заклепок -  $h$ , можно определить в зависимости от диаметра заклепок и шага заклепок следующими выражениями:

$$h_1 = \left( 0,9 + 1,42 \cdot k \cdot \frac{\sigma_{\text{см}}^{\text{листа}}}{\sigma_{\text{в}}^{\text{листа}}} \right) \cdot d;$$

и

$$h_2 = \left[ 0,71 + 0,19 / \left( 1 + 2 \cdot k \cdot \frac{\sigma_{\text{см}}^{\text{листа}}}{\sigma_{\text{в}}^{\text{листа}}} \right) \right] \cdot t$$

где:  $k \approx 1.1$  – коэффициент концентрации напряжений.

Из двух значений  $h$  выбирается большее значение.

Исходные данные для расчета двухрядных  
заклепочных швов

Таблица №3

|          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |    |    |
|----------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| №        | 1   | 2   | 3   | 4  | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11 | 12 |
| $\delta$ | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1  | 1,2 | 1,2 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2  | 2  |
| t        | 10  | 15  | 12  | 14 | 16  | 15  | 15  | 16  | 15  | 18  | 20 | 25 |
| q        | 10  | 20  | 25  | 30 | 35  | 40  | 45  | 50  | 55  | 60  | 65 | 55 |

|          |     |    |     |     |     |     |     |     |    |    |     |     |
|----------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|
| №        | 13  | 14 | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21 | 22 | 23  | 24  |
| $\delta$ | 0,8 | 1  | 1,2 | 1,2 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2  | 2  | 2,5 | 2,5 |
| T        | 14  | 16 | 15  | 15  | 16  | 15  | 18  | 20  | 25 | 25 | 30  | 35  |
| q        | 35  | 40 | 50  | 45  | 45  | 45  | 50  | 55  | 60 | 65 | 70  | 75  |

В исходных данных задаются:

|                                    |               |
|------------------------------------|---------------|
| *                                  |               |
| распределенная погонная нагрузка - | q (ДаН/мм)    |
| *                                  | шаг заклепок  |
| -                                  | t (мм)        |
| *                                  | толщина       |
| листа -                            | $\delta$ (мм) |

Программа расчета заклепочных соединений.

Приведенные в разделах 1 и 2 алгоритмы расчета однорядных и двухрядных заклепочных швов были реализованы в виде программы Rivet для вычислительной машины ПЭВМ на алгоритмическом языке Delphi 5.

В числовом материале программы используются характеристики алюминиевых сплавов Д16, В95 и др.

Решение задач по конструированию и проектированию заклепочных швов с использованием программы Rivet производится в диалоговом режиме позволяющим задать исходные данные с помощью клавиатуры или из файла, отправить программу на решение и получить ответ на экране дисплея либо на бумаге в виде распечатки или чертежа.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2**

### **ТЕМА: “ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОУШИН НЕПОДВИЖНЫХ И ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ”.**

В большинстве разъемных соединений, применяемых в конструкции самолета, широко используются разного рода проушины. При проектировании надо учитывать, что любой стык является критическим местом и сделать его равнопрочным регулярному полотну без значительного увеличения массы очень сложно. К увеличению массы проушины ведет наличие концентрации напряжений в зоне отверстия, а масса проушин подвижных соединений увеличивается из-за снижения напряжения смятия под болтом и соответствующего увеличения размеров проушины.

#### **2.1. Алгоритм проектировочного расчета проушины неподвижного соединения.**

Расчетная схема проушины неподвижного соединения представлена на (рис.2.1). Пусть задана сила  $P$ , вызывающая разрыв проушины.

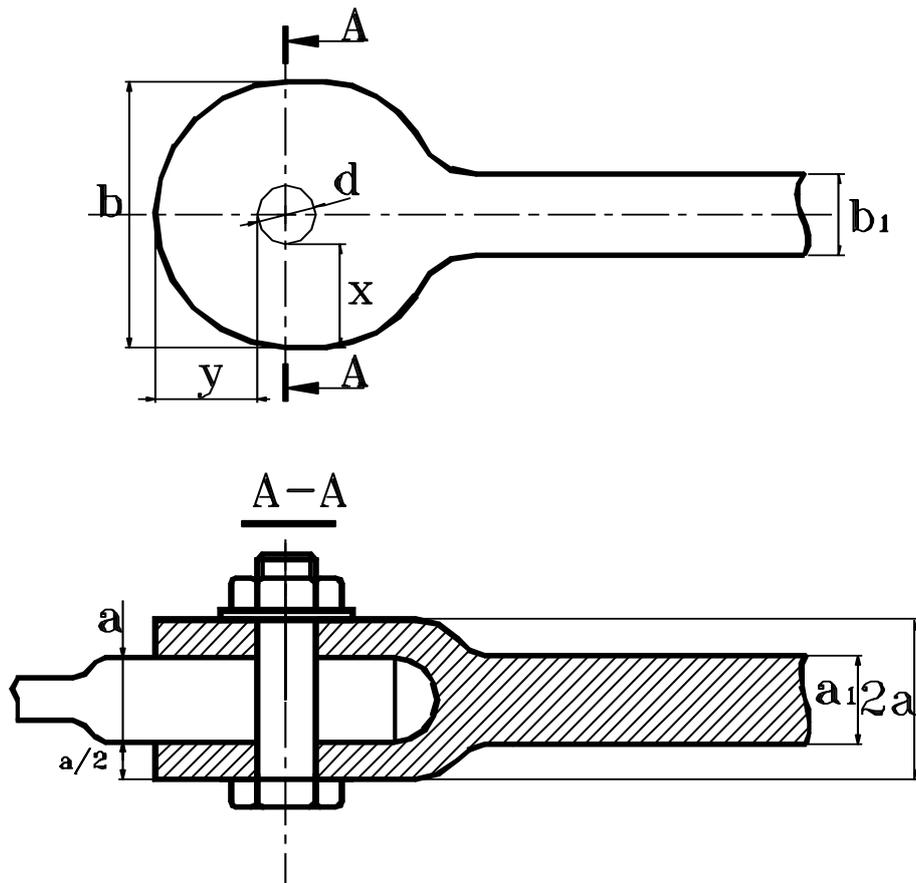


Рис.2.1. Проушина.

Расчет соединения типа “ухо-вилка” осуществляется по следующему алгоритму:

1. Определение площади сечения болта. Определяется площадь сечения болта из условия работы на срез:

$$F_{\sigma} = \frac{P}{\tau_{\sigma\sigma} \cdot n}$$

где:  $P$  – расчетная нагрузка на проушину;

$\tau_{\sigma\sigma}$  – предел прочности материала болта на срез;

$\tau_{\sigma\sigma} = (0,6 \dots 0,65) \times \sigma_{\sigma\sigma}$

$n$  – число плоскостей среза болта,  $n = 2$ .

2. Определение диаметра соединительного болта из условия среза. Диаметр болта определяется по следующей формуле:

$$d_{\sigma} = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\tau_{\sigma\sigma} \cdot n \cdot \pi}}$$

где:  $d_6$  - диаметр соединительного болта, уточняется по справочникам согласно отраслевых стандартов или нормальям.

### 3. Определение толщины проушины.

Толщина средней проушины уха или суммарная толщина двух крайних проушин вилки определяется из условия работы проушины на смятие, определяется ее толщина:

$$a = \frac{P}{d_6 \cdot \mu \cdot \sigma_{\delta}}$$

где  $\sigma_{см}$  – допустимое напряжение смятия проушины может быть определено по формуле :  $\sigma_{см} = \mu \cdot \sigma_{вб}$

$\mu$  – коэффициент зависящий от типа соединения,  $\mu=1 \dots 1,3$

### 4. Определение остальных размеров проушины.

Остальные размеры проушины определяются из условия разрыва по сечению А–А. Необходимо учитывать, что из-за наличия отверстия в сечении А–А проушины, напряжения будут изменяться неравномерно. За разрушающее напряжение в этом случае принимается величина  $[k \times \sigma_b]$ ,

где  $k$  – коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений.

Приблизительно  $k$  можно определить по эмпирической зависимости:

$$k = 0,565 + 0,48 \cdot \frac{Y}{X} - 0,1 \cdot \frac{b}{d};$$

Более точное значение  $k$  можно определить по справочникам. Обычно, отношение параметров  $\frac{Y}{X}$  и  $\frac{b}{d}$  выбирают в следующих пределах:

$$\frac{Y}{X} = c = 1 \dots 1,4 \quad \text{и} \quad \frac{b}{d} = 2 \dots 3$$

Тогда, площадь сечения проушины по сечению А–А из условия разрыва будет равна:

$$F_{II} = \frac{P}{k \times \sigma_{вII}}$$

где  $\sigma_{вII}$  – допустимое временное напряжение материала проушины.

Учитывая, что площадь сечения проушины  $F_{II} = 2 \times X \times a$  можно определить:

$$X = \frac{F_n}{2 \cdot a}; \quad b = (2 \cdot X + d); \quad Y = 1,2 \times X;$$

Ширину перемычки (Y) необходимо проверить из условия среза по плоскостям ( $Y_1 - Y_2$ )

$$y' = \frac{P}{2 \cdot a \cdot \tau_{\text{вп}}};$$

где  $\tau_{\text{вп}}$  – предел прочности материала проушины на срез.

Необходимо соблюдение условия  $Y' < Y$  ;

Площадь сечения за проушиной определяют по выражению:

$$F_n = F_1 = a_1 \cdot b_1$$

## 6. Программа расчета проушин неподвижного соединения.

Приведенный в разделе 2.1 алгоритм расчета проушины неподвижного соединения был реализован в виде программы PROUSH для вычислительной машины ПЭВМ на алгоритмическом языке ПАСКАЛ 7.0

В числовом материале программы используются характеристики алюминиевого сплава Д16 и стали 30ХГСА.

Решение задач по конструированию проушина с использованием программы PROUSH производится с помощью терминального комплекса автоматизированного программирования (ТЕКАП), разработанного на кафедре КиПЛА. ТЕКАП позволяет с помощью клавиатуры дисплея ПЭВМ задать исходные данные, отправить программу на решение и получить ответ на экране дисплея либо на бумаге в виде распечатки.

Для работы программы PROUSH необходимо ввести исходные данные (табл.2.1).

Таблица 2.1

| N<br>п/п | Наименование<br>величины                  | Еди-<br>ница | Обозна-<br>чение | Иденти-<br>фикатор |
|----------|---|--------------|------------------|--------------------|
| 1        | Расчетная нагрузка на проушины            | Н            | P                | P                  |
| 2        | Коэффициент, зависящий от типа соединения | -            | $\mu$            | MS                 |
| 3        | Отношение параметров                      | -            | y/x              | C                  |
| 4        | Отношение параметров                      | -            | b/d              | N                  |

В результате расчета получают следующие параметры проушина (табл.2.2).

Таблица 2.2

| N<br>п/п | Наименование<br>величины | Еди-<br>ница | Обозна-<br>чение | Иденти-<br>фикатор |
|----------|--------------------------|--------------|------------------|--------------------|
|----------|--------------------------|--------------|------------------|--------------------|

|    |  |                 |                |    |
|----|--|-----------------|----------------|----|
| 1  | Площадь сечения болта                                      | мм <sup>2</sup> | F <sub>6</sub> | SB |
| 2  | Диаметр болта  | мм              | d <sub>6</sub> | DB |
| 3  | Толщина проушины   | мм              | a              | A  |
| 4  | Площадь сечения проушины по сечению А–А                    | мм <sup>2</sup> | F <sub>n</sub> | SP |
| 5  | Площадь сечения за проушины                                | мм <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | S1 |
| 6  | Ширина перемычки из условия разрыва проушины по плоскостям | мм              | x              | X  |
| 7  | Потребная ширина проушины                                  | мм              | в              | B  |
| 8  | Ширина перемычки из условия среза проушины по плоскостям   | мм              | У              | Y  |
| 9  | Коэффициент концентрации напряжений                        | —               | k              | КН |
| 10 | Ширина перемычки из условия среза проушины по плоскостям   | мм              | У'             | Y1 |

Таблица вариантов задания исходных данных.

Таблица 2.3

|       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| №:зад | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| P(кН) | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | 42 |
| №:зад | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| P(кН) | 44 | 46 | 48 | 50 | 21 | 23 | 25 | 27 | 29 | 31 | 33 | 25 |

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

#### ТЕМА: “ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРОНШТЕЙНА УЗЛА НАВЕСКИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ”

Управляющие поверхности самолета (элероны, рули высоты и направления, интерцепторы, триммеры и т.п.), некоторые виды механизации крыла (поворотные щитки, закрылки и т.п.) створки шасси, грузовые люки соединяются с неподвижными частями конструкции самолета с помощью узлов навески, основными элементами которых являются кронштейны. (Приложение №2)

Кронштейны чаще всего изготавливаются штамповкой из алюминиевых сплавов (АК-4, АК-6 и т.п.). Кронштейны, на которые действуют большие расчетные нагрузки, изготавливаются из титановых сплавов (ВТЗ-1, ВТ-22 и т.п.) и сплавов стали (45, 30ХГСА и т.п.).

Несмотря на различную конфигурацию, применяемые материалы и размеры кронштейны имеют следующие основные элементы: проушину (вилку), стенку с поясами, основание, которым кронштейн крепится к конструкции. В узлах

навески соединение кронштейнов между собой осуществляется подвижным соединением типа “ухо-вилка”.

### **Алгоритм расчета кронштейна на прочность.**

В силовом отношении кронштейны представляют собой консольные балки или рамы с заземленными или шарнирно закрепленным основанием, нагруженные сосредоточенными нагрузками в виде сил и моментов.

Характерной особенностью кронштейна балочной конструкции является передача перерезывающей силы стенкой. Для снижения массы в стенке делают отверстия с таким расчетом, чтобы действующие в стенке касательные напряжения были не более допустимого. При этом максимальный размер отверстия не должен превышать половину высоты стенки. В противном случае кронштейн в силовом отношении будет представлять рамную конструкцию.

В кронштейне рамной конструкции изгибающий момент и перерезывающая сила передаются растяжением-сжатием поясов, а стенка вырождается в элементы поясов, подкрепляющие их от местной потери устойчивости. Силовой анализ показывает, что рамные кронштейны в весовом отношении выгоднее использовать в тех случаях, когда длина кронштейна достаточна велика, а действующие нагрузки небольшие.

Рассмотрим расчет типового кронштейна балочной конструкции узла навески управляющей поверхности, например элерона (рис.2.1).

1. Расчет проушины кронштейна. Размеры проушины кронштейна ( $V_{пн}$ ,  $D_{пн}$ ) зависят от устанавливаемых в них подшипников. Обычно используются шарикоподшипники радиальные сферические однорядные с двумя защитными шайбами и выступающим внутренним кольцом. Подшипник, устанавливаемый в кронштейне, подбирается с учетом заданной нагрузки по каталогу. (Приложение № 3)

Ширина проушины кронштейна в соответствии с ОСТ1-03841-76 определяется следующей зависимостью:

$$V_{пн} = V_{п} + 2 \cdot a;$$

где:  $V_{п}$  - ширина внешней обоймы подшипника;

$a$  - расстояние от края проушины до внешней обоймы подшипника.

Эта величина зависит от наружного диаметра подшипника. При

$D_{п} = (20...30)$ мм рекомендуется брать  $a=0,2$ мм, а при

$D_{п} = (30...40)$ мм рекомендуется брать  $a=0,25$ мм.

Внутренний диаметр проушины  $D_{вн}$  равен наружному диаметру подшипника, т.к. подшипник устанавливается в проушину по глухой, напряженной или плотной посадке и кернится или завальцовывается.

Наружный диаметр проушины  $D_{\text{пн}}$  определяется из условия ее прочности при запрессовке подшипника. В зависимости от материала кронштейна рекомендуются следующие значения наружного диаметра проушины:

$$D_{\text{пн}} = D_{\text{п}} + 2 \cdot \ell$$

Для кронштейнов, изготовленных из алюминиевых сплавов, имеющих  $\sigma_{\text{в}}=320...360$  Н/мм:

- при нагрузке до 10000Н  $\ell = 7$ мм;
- при нагрузке от 10000Н до 36000Н  $\ell = 14$ мм;

Для кронштейнов, изготовленных из стали 30ХГСА и титановых сплавов:

- при нагрузке до 10000Н  $\ell = 3,5$ мм;
- при нагрузке от 10000Н до 25000Н  $\ell = 4$ мм;
- при нагрузке от 25000Н до 30000Н  $\ell = 5$ мм;
- при нагрузке от 30000Н до 36000Н  $\ell = 6$ мм;
- при нагрузке от 36000Н до 50000Н  $\ell = 7$ мм.

Для кронштейнов, изготовленных из магниевых сплавов:

- при нагрузке до 10000Н  $\ell = 6$ мм;
- при нагрузке от 10000Н до 36000Н  $\ell = 14$ мм;

Следует отметить, что в ОСТ1-12915-77 “Соединения узлов навески руля направления, руля высоты, элеронов, элевонных, киля, стабилизатора, крыла” даны конструкция и размеры шести типоразмеров проушины кронштейна киля и 24 типоразмера вилки кронштейна руля.

## 2. Расчет сечения кронштейна в зоне перехода от проушины к телу кронштейна.

Сечение I-I (рис.2.1) находится в зоне перехода от проушины к телу кронштейна.

Расстояние от точки приложения нагрузки до сечения I-I можно принимать:

$$X_1 = (0,5...1) \cdot D_{\text{пн}} + (0...15)$$

Изгибающий момент в сечении:  $M^I = P_1 \cdot X_1$

Ширина сечения I-I  $B$  принимаем равной ширине проушины кронштейна минус 0...6 мм.  $B = B_{\text{пн}} - (0...6)$ ;

Нормальное напряжение в сечении определяется зависимостью:

$$\sigma = M^I \cdot Y/I;$$

где:

$M$  - изгибающий момент в сечении I-I;

$$Y = \frac{H_{\text{min}}}{2};$$

$H_{\text{min}}$  - высота сечения;

$$I = \frac{B \cdot H_{\min}^3}{12} - \text{момент инерции сечения.}$$

Тогда

$$\sigma = \frac{3 \cdot D_{\text{пн}} \cdot P}{H_{\min}^2 \cdot B_{\text{пн}}};$$

Так как условию прочности сечения  $\sigma \leq \sigma_B$ , то

$$H_{\min} \approx \sqrt{\frac{3 \cdot D_{\text{пн}} \cdot P}{B_{\text{пн}} \cdot \sigma_B}}$$

3. Расчет толщины пояса. По технологическим соображениям толщина пояса по длине кронштейна принимается постоянной. Пояса кронштейна воспринимают осевые усилия от изгибающего момента. Так как нагрузка может быть направлена противоположные стороны, то каждый пояс будет подвергаться как растяжению, так и сжатию от изгибающего момента:

$$M^{\text{II}} = P \cdot X_2$$

где:  $X_2$  - расстояние от точки приложения нагрузки  $P$  до сечения, где сплошное сечение I-I переходит в сечение, имеющее конфигурацию двутавра

Значение  $X_2$ , рекомендуется принимать:

$$X_2 = (0,75 \dots 1,2) \cdot D_{\text{пн}}$$

Площадь поперечного сечения пояса определяем из условия сохранения им общей устойчивости при сжатии.

Напряжение, действующее в поясе:

$$\sigma = \frac{M^{\text{II}} \cdot Y}{I} = \frac{P \cdot X_2 \cdot H}{2 \cdot I}$$

где:  $H$  - высота сечения II-II,  $H \approx H_{\min}$

$$I = \frac{2 \cdot B_{\text{пн}} \cdot C_{\text{п}}^3}{12} + 2 \cdot B_{\text{пн}} \cdot C_{\text{п}} \cdot \left(\frac{H}{2}\right)^2$$

Первым членом, входящим в это выражение можно пренебречь ввиду его малости. Тогда:

$$\sigma = \frac{P \cdot X_2}{B_{\text{пн}} \cdot C_{\text{п}} \cdot H} \leq \sigma_{\text{кр}}$$

Критическое напряжение общей потери устойчивости

$$\sigma_{\text{кр}} = C \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{(\ell/2)^2}$$

где:  $C$  - коэффициент заделки,  $C=1$ ;  
 $E$  - модуль упругости;

$l$  - длина пояса от сечения II-II до основания.

Для получения рациональной конструкции кронштейна принимаем :

$$\sigma_{кр}=(0,7\dots 0,8)\times\sigma_B \quad \left(\frac{B_{пн}}{C_{п}}\right)_{\max} = 8\cdot 10$$

Тогда, для ( $X_2 = 0,75 \cdot D_{пн}$ ) можно записать:

$$C_{п} = \frac{P \cdot D_{пн}}{B_{пн} \cdot H_{\min} \cdot \sigma_B}$$

4. Расчет ширины пояса кронштейна у основания. Учитывая, что у основания  $X_2 == L_p$ ,  $H=(H_k - C_{п})$  и  $B_{пн} = B_{по}$

из выражения

$$\sigma = \frac{P \cdot X_2}{B_{пн} \cdot C_{п} \cdot H} \leq \sigma_{кр}$$

определяем:

$$B_{по} = \frac{P \cdot L_p}{C_{п} \cdot (H_k - C_{п}) \cdot \sigma_{кр}}$$

5. Расчет толщины стенки кронштейна. Стенка воспринимает перерезывающую силу, поэтому она рассчитывается из условия среза

$$C_{ст} = \frac{P}{H_{ст} \cdot \tau_B}$$

где:  $H_{ст}$  - высота стенки кронштейна. Для сечения II-II (рис.2.1)

рекомендуется принимать:  $H_{ст} \approx H \approx H_{\min}$ ;

$\tau_B \approx 0,6 \cdot \sigma_B$  - допускаемое касательное напряжение.

Так как перерезывающая сила остается постоянно по длине кронштейна, а высота стенки увеличивается по направлению к основанию, то напряжения, действующие на стенки уменьшаются. Для уменьшения массы кронштейна в стенке делают отверстия с таким расчетом, чтобы в оставшихся частях стенки действовали касательные напряжения не более допускаемого.

6. Расчет болтов крепления кронштейна. Болты крепления подбираются из условия работы на разрыв и на срез. На срез работают все болты. Максимальные усилия растяжения возникают в крайних верхних или нижних болтах в зависимости от направления заданной нагрузки. Размеры  $H_b$  и  $B_b$  определяются силовой увязкой конструкции в соответствии с размерами  $H_k$  и  $B_{по}$ . При этом - минимальное расстояние от стенки кронштейна до оси болта определяется по ГОСТ 13662 - 66 "Места под ключи гаечные".

Растягивающая нагрузка на болт

$$P_b = \frac{P \cdot L_p}{0,5 \cdot n_b \cdot H_b}$$

где:  $n_b$  - количество болтов крепления ( $n_b=4$ ).

Из условия  $P_{\sigma} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\sigma p}^2 \cdot \sigma_{\text{вб}}$

определяем:

$$D_{\sigma p} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\sigma}}{\pi \cdot \sigma_{\text{вб}}}}$$

где:  $\sigma_{\text{вб}}$  - предел прочности материала болта;  
 $D_{\sigma p}$  - диаметр болта из условия разрыва.

Из условия работы болтов на срез по одной плоскости:

$$\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\sigma \text{ср}}^2 \cdot \tau_{\text{вб}} = \frac{P}{n_{\sigma}}$$

где:  $D_{\sigma \text{ср}}$  - диаметр болта из условия среза;  
 $\tau_{\text{вб}}$  - напряжение среза болта,  $\tau_{\text{вб}} = 0,7 \cdot \sigma_{\text{вб}}$

Следовательно,

$$D_{\sigma \text{ср}} = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{0,7 \cdot n_{\sigma} \cdot \pi \cdot \sigma_{\text{вб}}}}$$

Из двух значений диаметров выбираем наибольшую из них и, как это указано выше, определяем действующее в болт суммарное напряжение от среза и растяжения:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_p^2 + 4 \cdot \tau_{\text{вб}}^2}$$

Суммарное напряжение  $\sigma_{\Sigma}$  должно быть меньше предела прочности материала болта

$$\sigma_{\Sigma} \leq \sigma_{\text{вб}}$$

7. Расчет толщины основания кронштейна. Потребную толщину основания кронштейна определяем, из условия смятия ее под болтом крепления к конструкции от срезающей нагрузки:

$$C_{\text{осн}} = \frac{P}{n_{\sigma} \cdot D_{\sigma} \cdot \sigma_{\text{см}}}$$

где:  $\sigma_{\text{см}}$  - напряжения смятия,  $\sigma_{\text{см}} = 1,3 \cdot \sigma_{\text{вб}}$ ;

Толщину основания необходимо проверить на местный изгиб под отдельным болтом. Контакт основания с конструкцией осуществляется через выступы (бобышки) в зоне болта, если не требуется контактировать основание с конструкцией по всей плоскости. В этих случаях изгиб основания будет стесненным. Напряжение изгиба в сечении I-I на рис.1. определяется по формуле

$$\sigma = 0,5 \times \frac{P_{\sigma} \times L}{W} \leq [\sigma]$$

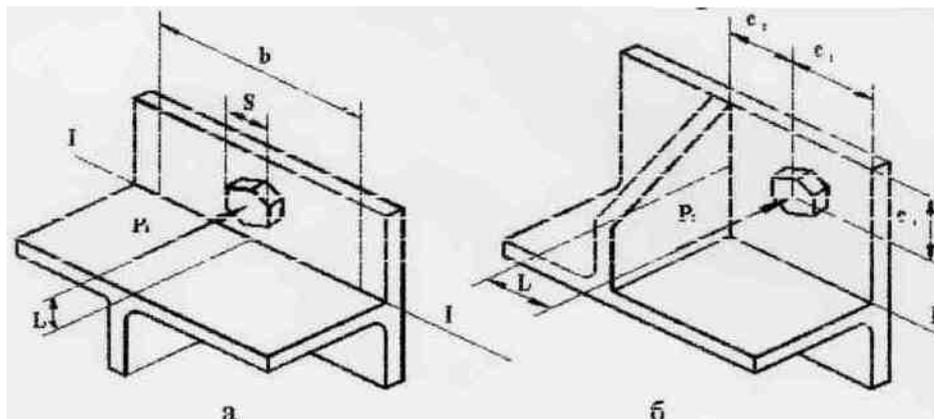


Рис.1. Места крепления кронштейна.

где  $P_b$  - осевое усилие болта;

$W$  - момент сопротивления;

$$W = \frac{b \times C_{\text{осн}}^2}{6};$$

$[\sigma]$  – допустимое напряжение для материала болта

где  $b$  - ширина полки, эффективно работающей на изгиб.

Для случая, показанного на рис 1,а -  $b=S+3,5 \times L$ ; где  $S$  – размер под ключ см. приложение 4.

Для случая, показанного на рис 1,б -  $b= 2 \times c_1 + 0,5 \times c_2 \times \pi$ .

### Программа расчета кронштейна.

Приведенный в предыдущем разделе алгоритм расчета кронштейна реализован в виде программы KRON на языке ПАСКАЛ 7.0.

Решение задач по конструированию кронштейна с использованием программы KRON производится с помощью терминального комплекса автоматизированного программирования. Он позволяет с помощью клавиатуры дисплея задать исходные данные, отправить программу на решение и получить ответ на экране дисплея либо на бумаге в виде распечатки.

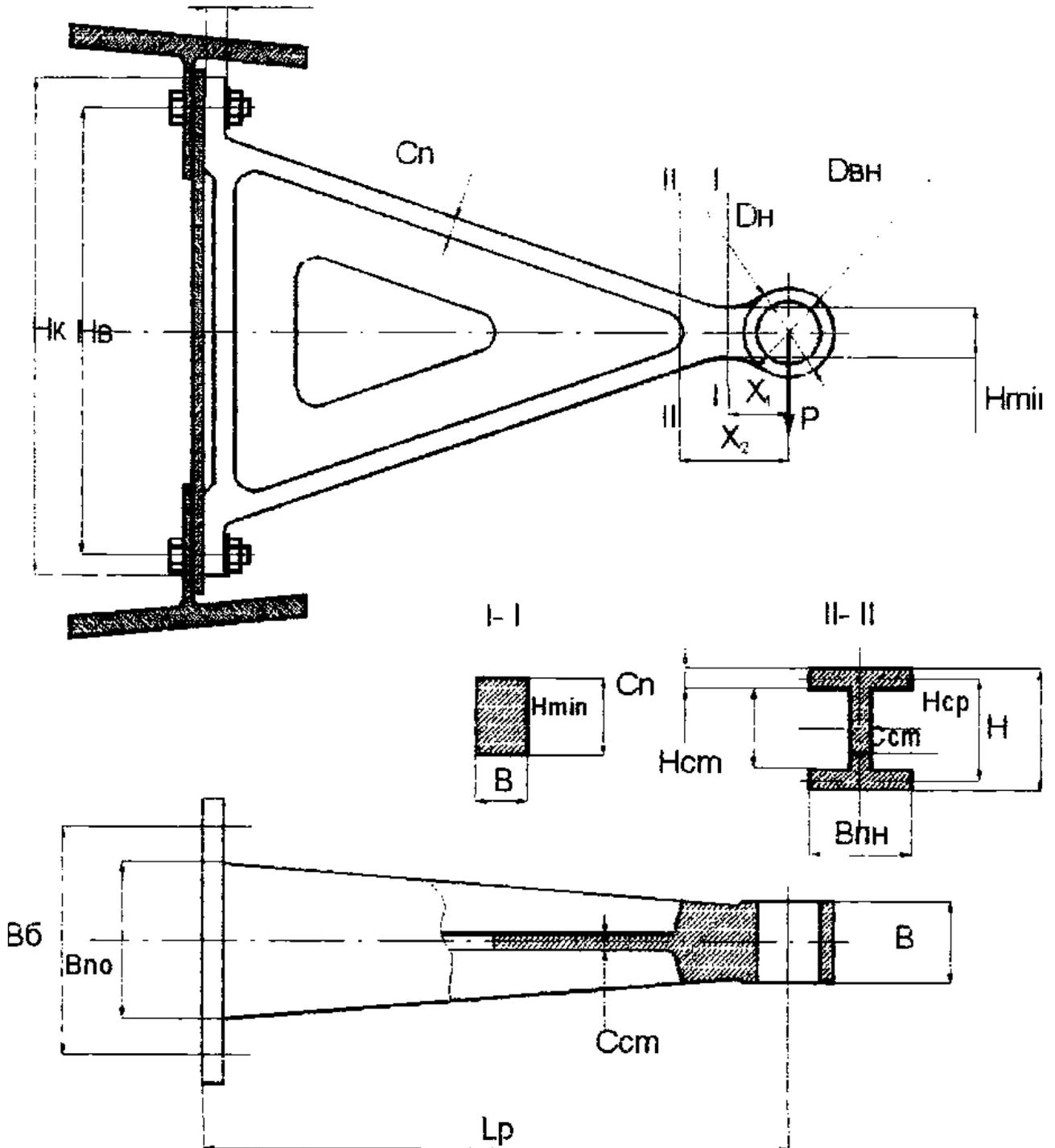
## Приложение 1.

## Варианты заданий

| Вариант<br>Задания | Р     | L <sub>р</sub> | H <sub>к</sub> |
|--------------------|-------|----------------|----------------|
| №                  | Н     | мм             | мм             |
| 1                  | 2000  | 208            | 104            |
| 2                  | 4000  | 234            | 118            |
| 3                  | 6000  | 248            | 124            |
| 4                  | 8000  | 260            | 130            |
| 5                  | 10000 | 274            | 138            |
| 6                  | 12000 | 286            | 142            |
| 7                  | 14000 | 300            | 148            |
| 8                  | 16000 | 312            | 156            |
| 9                  | 18000 | 325            | 162            |
| 10                 | 20000 | 338            | 168            |
| 11                 | 21000 | 350            | 174            |
| 12                 | 22000 | 364            | 182            |
| 13                 | 23000 | 375            | 190            |
| 14                 | 24000 | 388            | 196            |
| 15                 | 25000 | 400            | 200            |
| 16                 | 26000 | 414            | 208            |
| 17                 | 27000 | 425            | 212            |
| 18                 | 28000 | 440            | 220            |
| 19                 | 29000 | 450            | 230            |
| 20                 | 30000 | 465            | 232            |
| 21                 | 31000 | 480            | 240            |
| 22                 | 32000 | 490            | 244            |
| 23                 | 33000 | 500            | 250            |
| 24                 | 34000 | 520            | 260            |

# Приложение 2.

## Типовой кронштейн.



Приложение 3.  
Подшипники сферические.

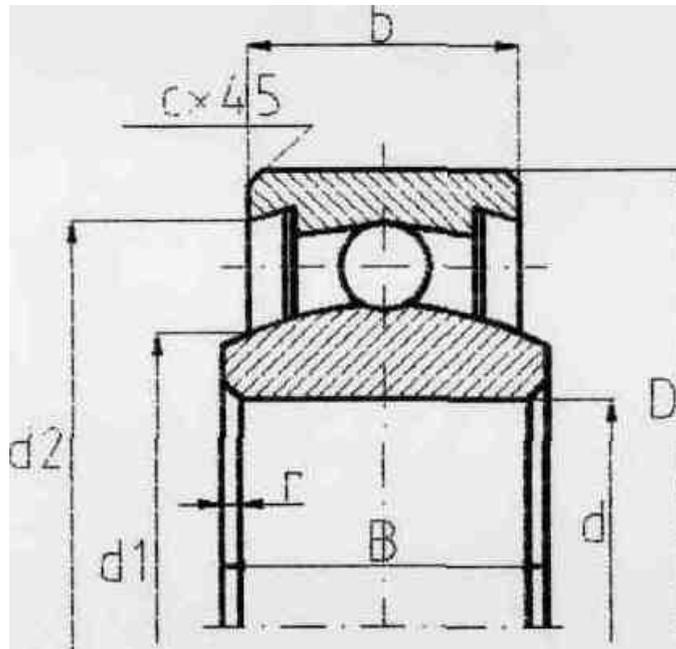


Рис.2. Подшипник сферический шариковый однорядный.

| Обозначение подшипника | d  | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | D  | B  | b  | c   | r   | Нагрузка, даН |            |
|------------------------|----|----------------|----------------|----|----|----|-----|-----|---------------|------------|
|                        |    |                |                |    |    |    |     |     | Разрушающая   | Допустимая |
| 981065Ю                | 5  | 7,1            | 17,25          | 20 | 8  | 7  | 0,5 | 0,5 | 1210          | 305        |
| 981067Ю                | 7  | 9,3            | 20,65          | 24 | 12 | 9  | 0,8 | 0,5 | 1900          | 475        |
| 981068Ю                | 8  | 11,6           | 26,45          | 30 | 14 | 10 | 0,8 | 0,5 | 2950          | 735        |
| 981700Ю                | 10 | 13,6           | 32,45          | 37 | 16 | 12 | 0,5 | 0,5 | 3200          | 800        |
| 981702Ю                | 15 | 28,2           | 45,20          | 52 | 20 | 15 | 1,0 | 1,0 | 7300          | 1800       |

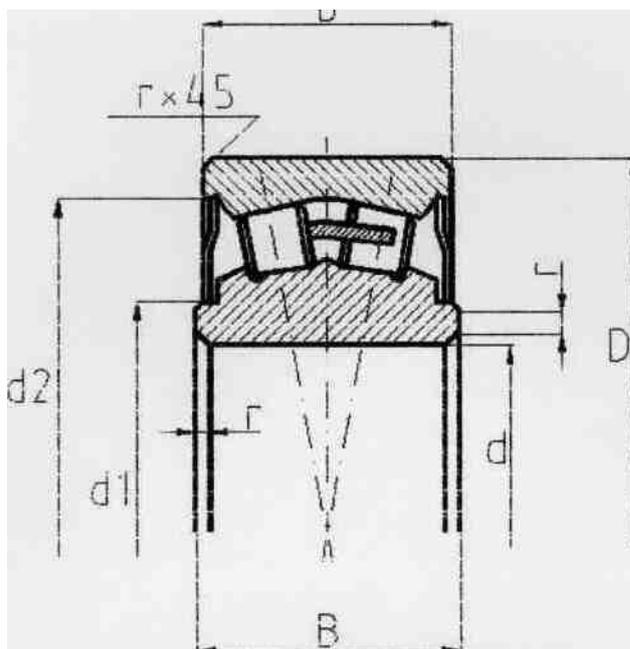


Рис.2. Подшипник сферический роликовый двухрядный.

| Обозначение подшипника | d  | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | D  | B  | b  | r   | Нагрузка, даН |            |
|------------------------|----|----------------|----------------|----|----|----|-----|---------------|------------|
|                        |    |                |                |    |    |    |     | Разрушающая   | Допустимая |
| 83071KI                | 8  | 22,6           | 44,7           | 28 | 17 | 13 | 0,5 | 2940          | 2050       |
| 83700KI                | 8  | 15,0           | 27,1           | 35 | 21 | 17 | 0,5 | 4210          | 2970       |
| 83700Ю                 | 10 | 15,0           | 27,1           | 35 | 21 | 17 | 0,5 | 4210          | 2970       |
| 83702K                 | 15 | 19,2           | 33,4           | 42 | 21 | 17 | 0,5 | 5550          | 3885       |
| 83704KI                | 20 | 30,0           | 44,7           | 52 | 26 | 26 | 1,5 | 13250         | 9625       |
| 83704Ю                 | 20 | 30,0           | 44,7           | 52 | 26 | 26 | 1,5 | 13250         | 9625       |

#### Приложение 4.

| Диаметр болта d мм   | 4 | 5  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 |
|----------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Размер под ключ S мм | 7 | 8  | 10 | 12 | 14 | 17 | 19 | 22 | 24 | 27 | 32 | 41 | 50 | 60 | 70 |
| L                    | 9 | 10 | 11 | 13 | 13 | 15 | 16 | 18 | 20 | 23 | 26 | 31 | 37 | —  | —  |
| C <sub>1</sub>       | 8 | 6  | 11 | 13 | 14 | 17 | 19 | 24 | 25 | 28 | 32 | 40 | 48 | 55 | 65 |
| C <sub>2</sub>       | 6 | 7  | 8  | 10 | 10 | 13 | 14 | 15 | 16 | 19 | 22 | 26 | 32 | 38 | 45 |

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

### ТЕМА: “ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСИЛЕННЫХ НЕРВЮР”

#### I. ПРЕДИСЛОВИЕ.

Усиленные (силовые) нервюры устанавливаются в местах действия больших сосредоточенных сил (крепление рулевых поверхностей, элементов механизации крыла, установка узлов крепления стоек, шасси, крепление двигателей и т. п.).

По конструктивной схеме различают нервюры балочные, рамные и ферменные. В силовом отношении усиленная нервюра представляет собой плоскую балку с высокой жёсткостью в своей плоскости, нагруженную внешними сосредоточенными нагрузками, распределённой воздушной и массовой нагрузкой и уравновешенную потоками касательных усилий в обшивке крыла и стенках лонжеронов.

В данной работе рассматривается работа усиленной балочной нервюры кессонного крыла с двумя лонжеронами, к которой крепится элерон.

Лабораторно-практическое занятие проводится в учебной лаборатории кафедры под руководством преподавателя и выполняется каждым студентом самостоятельно в соответствии с вариантом задания.

После выполнения задания, работа защищается перед преподавателем и сдаётся.

#### II. Задание на ЛПЗ.

Сконструировать среднюю часть усиленной нервюры навески элерона, расположенную между лонжеронами.

2.1. В соответствии с геометрией сечения крыла и заданными нагрузками произвести проектировочный расчет на прочность.

2.2. Разработать конструктивный чертеж межлонжеронной части нервюры, выполненный на миллиметровой бумаге формат 594x297.

При проектировочном расчете определить:

- площадь сечения поясов нервюры;
- толщину стенки;
- необходимость подкрепления стенки стойками;
- размеры крепежа кронштейна навески элерона к нервюре.

На конструктивном чертеже в масштабе 1:1 проработать следующие элементы конструкции:

- пояса нервюры и стыковку их со стенкой и панелями крыла;
- подкрепление стенки нервюры (стойки, зиги);
- стык нервюры с передним лонжероном;
- стык нервюры с задним лонжероном и кронштейном навески элерона.

### III. Исходные данные.

#### 3.1. Форма поперечного сечения.

Геометрические характеристики профиля определить в соответствии с таблицей № I.

Таблица № I.

|                  |   |       |       |       |       |       |    |       |       |       |       |     |
|------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|----|-------|-------|-------|-------|-----|
| X %              | 0 | 2,5   | 5     | 10    | 15    | 20    | 30 | 40    | 50    | 70    | 90    | 100 |
| Y <sub>в</sub> % | 0 | 3,11  | 4,31  | 5,68  | 6,89  | 7,54  | 8  | 7,77  | 7,14  | 5,02  | 2     | 0   |
| Y <sub>н</sub> % | 0 | -2,16 | -2,85 | -3,52 | -3,82 | -3,94 | -4 | -3,84 | -3,45 | -2,31 | -0,91 | 0   |

3.2. Положение лонжеронов и оси вращения элерона принять в соответствии с рис.1.

3.3. Расчетную схему нагружения усиленной нервюры принять в соответствии с рис.2, 3а, 3б.

3.4. Значения расчетной разрушающей распределенной по размаху воздушной нагрузки, – расчетной нагрузки в узле навески элерона, – шаг нервюр –  $t_n$  принять в соответствии с вариантом задания из таблицы № 2.

3.5. Конфигурация силовых элементов представлена на рис.4.

Геометрические размеры их определить из таблицы № 2 в соответствии с вариантом задания.

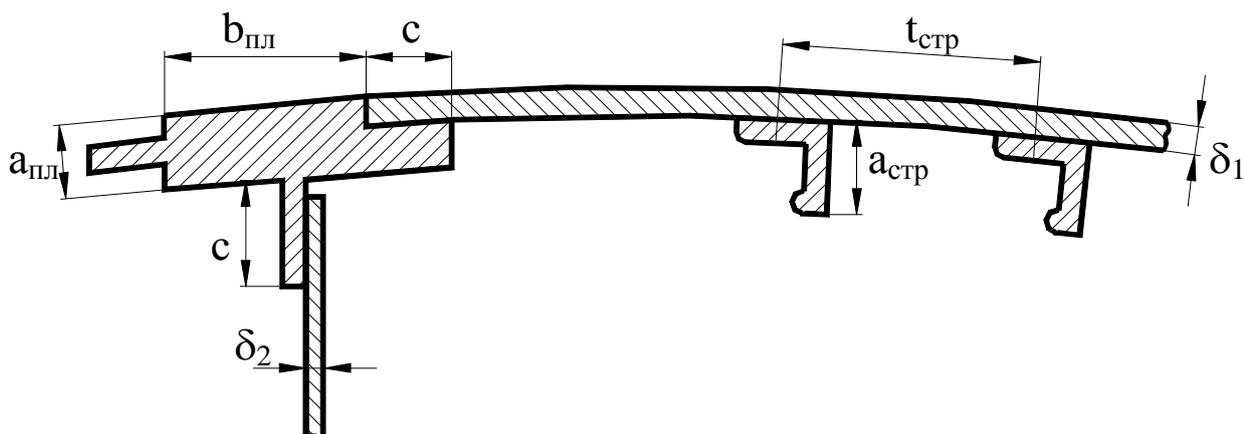


Рис.4. Конфигурация силовых элементов.

Таблица №2

| №<br>Зад | $b_H$ | $q_y^P$ | $2 \cdot P_{\Sigma}^P$ | $t_H$ | $a_{пл}$ | $b_{пл}$ | $C$ | $\delta_1$ | $\delta_2$ | $t_{стр}$ |
|----------|-------|---------|------------------------|-------|----------|----------|-----|------------|------------|-----------|
|          | мм    | Н/мм    | кН                     | мм    | мм       | мм       | мм  | мм         | мм         | мм        |
| 1        | 1600  | 40      | 4                      | 200   | 10       | 25       | 15  | 1          | 1          | 100       |
| 2        | 1700  | 50      | 6                      | 205   | 12       | 26       | 16  | 1,2        | 1          | 110       |
| 3        | 1800  | 55      | 8                      | 210   | 14       | 30       | 20  | 1,32       | 1          | 115       |
| 4        | 1900  | 60      | 10                     | 215   | 15       | 32       | 21  | 1,4        | 1,2        | 120       |
| 5        | 2000  | 65      | 12                     | 220   | 16       | 34       | 22  | 1,4        | 1,2        | 125       |
| 6        | 2100  | 70      | 14                     | 230   | 17       | 35       | 22  | 1,5        | 1,2        | 130       |
| 7        | 2200  | 75      | 16                     | 240   | 18       | 36       | 23  | 1,6        | 1,4        | 135       |
| 8        | 2300  | 80      | 18                     | 250   | 20       | 38       | 24  | 1,6        | 1,5        | 140       |
| 9        | 2400  | 85      | 20                     | 260   | 20       | 40       | 24  | 1,8        | 1,6        | 150       |
| 10       | 2500  | 90      | 21                     | 270   | 21       | 41       | 25  | 1,8        | 1,6        | 160       |
| 11       | 2600  | 95      | 22                     | 280   | 22       | 42       | 26  | 1,8        | 1,6        | 170       |
| 12       | 2700  | 100     | 23                     | 290   | 22       | 43       | 26  | 2          | 1,8        | 175       |
| 13       | 2800  | 105     | 24                     | 300   | 23       | 44       | 27  | 2,2        | 2          | 180       |
| 14       | 2900  | 110     | 25                     | 310   | 24       | 45       | 26  | 2,2        | 2          | 185       |
| 15       | 3000  | 120     | 26                     | 320   | 25       | 46       | 28  | 2,2        | 2          | 190       |
| 16       | 3100  | 125     | 27                     | 330   | 25       | 47       | 28  | 2,4        | 2,2        | 200       |
| 17       | 3200  | 130     | 28                     | 340   | 26       | 48       | 29  | 2,4        | 2,2        | 210       |
| 18       | 3400  | 135     | 29                     | 350   | 26       | 49       | 29  | 2,5        | 2,2        | 220       |
| 19       | 3600  | 140     | 30                     | 360   | 27       | 50       | 30  | 2,5        | 2,4        | 230       |
| 20       | 3800  | 145     | 31                     | 370   | 28       | 51       | 30  | 2,6        | 2,2        | 240       |
| 21       | 4000  | 150     | 32                     | 380   | 30       | 52       | 32  | 2,6        | 2,4        | 250       |
| 22       | 4200  | 155     | 33                     | 390   | 31       | 54       | 32  | 2,8        | 2,5        | 260       |
| 23       | 4400  | 160     | 34                     | 400   | 32       | 55       | 32  | 2,8        | 2,6        | 270       |
| 24       | 4600  | 165     | 35                     | 410   | 34       | 56       | 34  | 3          | 2,6        | 280       |
| 25       | 5000  | 170     | 36                     | 420   | 34       | 58       | 35  | 3          | 2,8        | 300       |

#### IV. Построение эпюры перерезывающей силы (Q) и изгибающего момента ( $M_{изг}$ ) действующих на усиленную нервюру.

Расчетная схема сечения крыла в зоне элерона представлена на рис.2. Распределенная аэродинамическая нагрузка принята по закону трапеции.

При этом принято допущение, что:  $\frac{q_{\epsilon}^I + q_{\epsilon}^{II}}{2} = q_{cp}$

$$q_{\epsilon}^{II} = 2 \cdot q_{\epsilon}^I; \quad \text{тогда: } q_{\epsilon}^I = \frac{2}{3} \cdot q_{cp}; \quad q_{\epsilon}^{II} = \frac{4}{3} \cdot q_{cp};$$

В свою очередь, среднее значение распределенной по нервюре воздушной нагрузки  $q_{cp}$  можно определить по заданному расчетному значению распределенной по размаху крыла аэродинамической нагрузки –:

$$q_{cp} = \frac{0,8 \cdot q_y^p \cdot t_H}{0,65 \cdot b_H}; \quad [H/мм]$$

где:  $t_H$  – шаг нервюры;  
 $q_y^p$  – распределенная расчетная погонная нагрузка;  
 $b_H$  – хорда нервюры.

Для упрощения задачи определение реакций опор и построения эпюр нагрузок, представим расчетную схему в виде двух схем:

а) нервюра нагружена распределенной воздушной нагрузкой  $q_{\epsilon}^I = 0,5 \cdot q_{\epsilon}^{II} = \text{const}$ ; и расчетной нагрузкой в узле навески элерона –  $P_{\epsilon}^p$ , (рис.3а).

б) нервюра нагружена распределенной по треугольному закону воздушной нагрузкой с  $q_{B \max} = 0,5 \cdot q_{\epsilon}^{II} = q_{\epsilon}^I = q_B$ .

Рассматривая, для каждой схемы отдельно, статическое равновесие балки определим реакции опор.

Для расчетной схемы – I:

$$\sum M_A = 0; \quad P_{\epsilon}^p \cdot 0,58 \cdot b_H - R_B^1 \cdot 0,45 \cdot b_H + q_b \left[ \frac{(0,45 \cdot b_H)^2 - (0,2 \cdot b_H)^2}{2} \right] = 0;$$

Откуда:

$$R_B^1 = 1,289 \cdot P_{\epsilon}^p + 0,18 \cdot q_b \cdot b_H$$

$$\sum M_B = 0; \quad P_{\epsilon}^p \cdot 0,13 \cdot b_H + R_A^1 \cdot 0,45 \cdot b_H - q_b \cdot \frac{(0,65 \cdot b_H)^2}{2} = 0;$$

$$R_A^1 = 0,469 \cdot q_b \cdot b_H - 0,289 \cdot P_{\epsilon}^p;$$

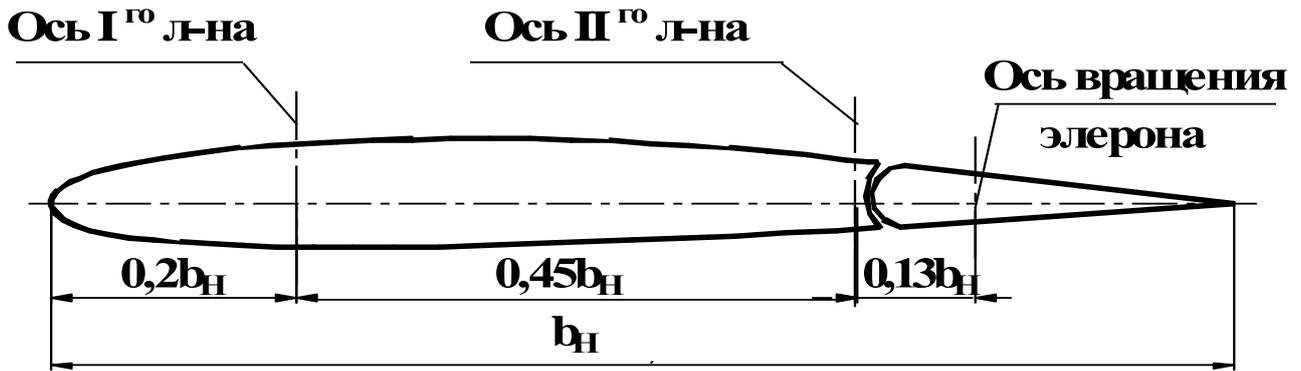


Рис.1. Схема сечения крыла в зоне элерона.

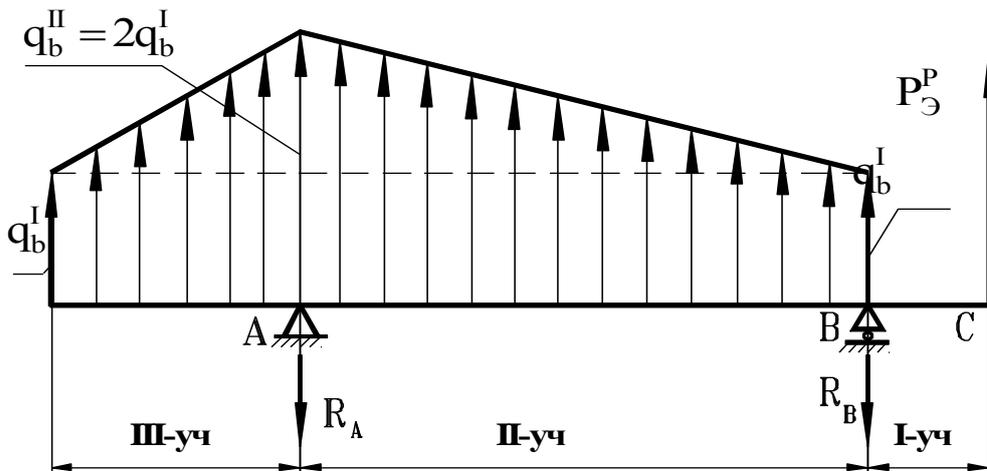


Рис.2. Расчетная схема нагружения нервюры.

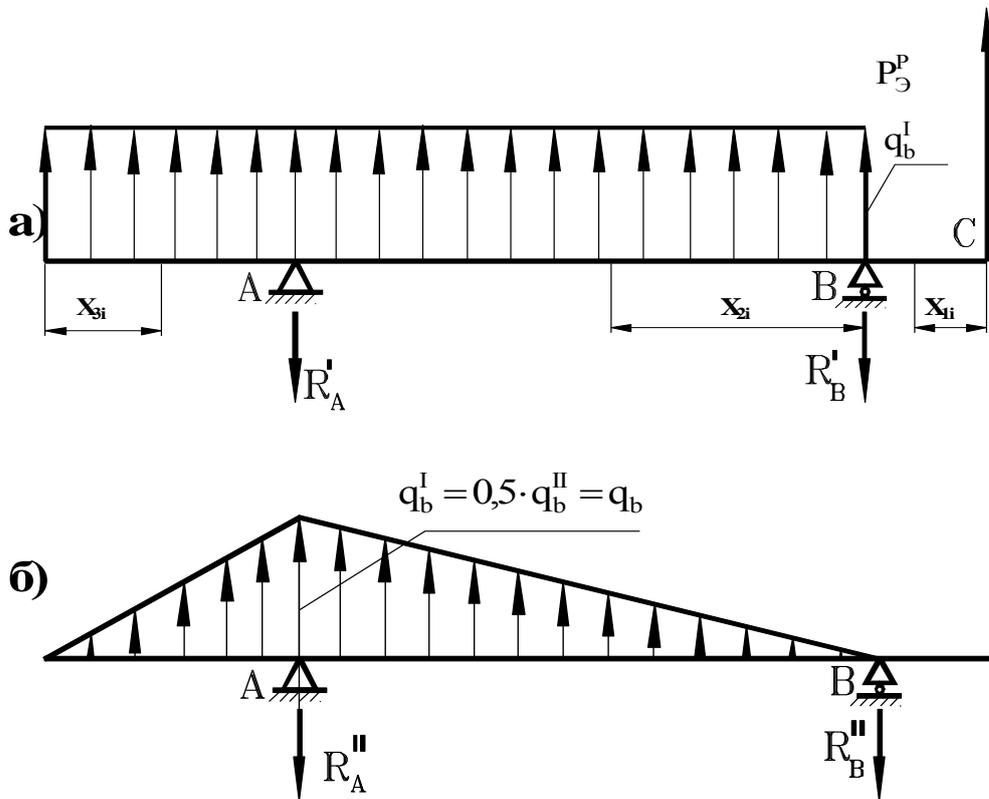


Рис.3. Расчетные схемы: а) схема - 1;    б) схема - 2.

Эпюры “Q” и “M” строим по отдельным участкам:

$$\begin{aligned} \text{I - участок:} \quad & 0 \leq X_{1i} \leq 0,13 \cdot b_H \\ & Q_1^1 = P_{\ominus}^P; \quad M_1^1 = P_{\ominus}^P \cdot X_{1i}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{II - участок:} \quad & 0 \leq X_{2i} \leq 0,45 \cdot b_H \\ & Q_2^1 = P_{\ominus}^P - R_B^1 + q_b \cdot X_{2i} = q_b \cdot X_{2i} - 0,18 \cdot q_b \cdot b_H - 0,289 \cdot P_{\ominus}^P \end{aligned}$$

при

$$X_{2i} = 0: \quad Q_2^1 = -(0,18 \cdot q_b \cdot b_H + 0,289 \cdot P_{\ominus}^P)$$

$$X_{2i} = 0,45 \cdot b_H: \quad Q_2^1 = 0,27 \cdot q_b \cdot b_H - 0,289 \cdot P_{\ominus}^P$$

$$M_2^1 = P_{\ominus}^P \cdot (0,13 \cdot b_H + X_{2i}) - R_B^1 \cdot X_{2i} + 0,5 \cdot q_b \cdot X_{2i}^2$$

при

$$X_{2i} = 0: \quad M_2^1 = 0,13 \cdot b_H \cdot P_{\ominus}^P$$

при

$$X_{2i} = 0,45 \cdot b_H: \quad M_2^1 = -0,00005 \cdot P_{\ominus}^P \cdot b_H + 0,02001 \cdot q_b \cdot b_H^2$$

$$\text{III - участок} \quad 0 \leq X_{3i} \leq 0,2 \cdot b_H$$

$$Q_3^1 = -q_b \cdot X_{3i} \quad \text{при } X_{3i} = 0: \quad Q_3^1 = 0 \quad M_3^1 = 0$$

$$M_3^1 = q_b \cdot \frac{X_{3i}^2}{2} \quad \text{при } X_{3i} = 0,2b_H: \quad Q_3^1 = -0,2 \cdot b_H \cdot q_b \quad M_3^1 = 0,02 \cdot b_H^2 \cdot q_b$$

Аналогично для расчетной схемы – 2.

$$\begin{aligned} \sum M_B = 0; \quad & R_A^{11} = 0,265 \cdot q_b \cdot b_H \\ \sum M_A = 0; \quad & R_B^{11} = 0,0602 \cdot q_b \cdot b_H \end{aligned}$$

Эпюры “Q” и “M” строим по отдельным участкам

$$\begin{aligned} \text{I - участок:} \quad & 0 \leq X_{1i} \leq 0,13 \cdot b_H \\ & Q_1^{11} = 0; \quad M_1^{11} = 0; \end{aligned}$$

$$\text{II - участок:} \quad 0 \leq X_{2i} \leq 0,45 \cdot b_H$$

$$Q_2^{11} = -R_B^{11} + \frac{q_b \cdot X_{2i}^2}{0,45 \cdot b_H \cdot 2} = \frac{q_b \cdot X_{2i}^2}{0,9 \cdot b_H} - 0,06 \cdot q_b \cdot b_H$$

при

$$X_{2i} = 0: \quad Q_2^{11} = -0,06 \cdot q_b \cdot b_H$$

при

$$X_{2i} = 0,45 \cdot b_H: \quad Q_2^{11} = 0,165 \cdot q_b \cdot b_H$$

$$M_2^{11} = -R_B^{11} + \frac{q_b \cdot X_{2i}^3}{6 \cdot 0,45 \cdot b_H} = \frac{q_b \cdot X_{2i}^3}{2,7 \cdot b_H} - 0,06 \cdot q_b \cdot b_H \cdot X_{2i}$$

при

$$X_{2i} = 0: \quad M_2^{11} = 0$$

при

$$X_{2i} = 0,45 \cdot b_H: \quad M_2^{11} = 0,00675 \cdot q_b \cdot b_H^2$$

III - участок

$$0 \leq X_{3i} \leq 0,2 \cdot b_H$$

$$Q_3^{11} = -\frac{q_b \cdot X_{3i}^2}{0,4 \cdot b_H}; \quad \text{при } X_{3i} = 0: \quad Q_3^{11} = 0; \quad M_3^{11} = 0;$$

$$M_3^{11} = \frac{q_b \cdot X_{3i}^3}{1,2 \cdot b_H}; \quad \text{при } X_{3i} = 0,2b_H: \quad Q_3^{11} = 0,1 \cdot b_H \cdot q_b; \quad M_3^{11} = 0,00667 \cdot b_H^2 \cdot q_b;$$

Для построения суммарных эпюр “Q” и “M” необходимо сложить их значения для двух расчетных схем.

$$Q_i^\Sigma = Q_i^I + Q_i^{11}; \quad M_i^\Sigma = M_i^I + M_i^{11};$$

I - участок:

$$Q_1^\Sigma = P_\Theta^P; \quad M_1^\Sigma = P_\Theta^P \cdot X_{li};$$

при

$$X_{li} = 0: \quad Q_1^\Sigma = P_\Theta^P; \quad M_1^\Sigma = 0;$$

при

$$X_{li} = 0,13 \cdot b_H: \quad Q_1^\Sigma = P_\Theta^P; \quad M_1^\Sigma = 0,13b_H \cdot P_\Theta^P;$$

II - участок:

$$Q_2^\Sigma = q_b \cdot X_{2i} \cdot \left( 1 + \frac{X_{2i}}{0,9 \cdot b_H} \right) - 0,24 \cdot q_b \cdot b_H - 0,289 \cdot P_\Theta^P;$$

$$M_2^\Sigma = P_\Theta^P \cdot (0,13 \cdot b_H - 0,289 \cdot X_{2i}) + q_b \cdot X_{2i}^2 \cdot \left( 0,5 + \frac{X_{2i}}{2,7 \cdot b_H} \right) - 0,24 \cdot q_b \cdot b_H \cdot X_{2i};$$

при

$$X_{2i} = 0: \quad Q_2^\Sigma = -(0,289 \cdot P_\Theta^P + 0,24 \cdot q_b \cdot b_H);$$

$$M_2^\Sigma = 0,13 \cdot b_H \cdot P_\Theta^P;$$

при

$$X_{2i} = 0,45 \cdot b_H; \quad Q_2^\Sigma = 0,435 \cdot q_b \cdot b_H - 0,289 \cdot P_\Theta^P; \\ \dot{I}_2^\Sigma = 0,027 \cdot b_H^2 \cdot q_b - 0,00005 P_Y^P \cdot b_H;$$

III - участок

$$Q_3^\Sigma = -q_b \cdot X_{3i} - \frac{q_b \cdot X_{3i}^2}{0,4 \cdot b_H} = -q_b \cdot X_{3i} \cdot \left( 1 + \frac{X_{3i}}{0,4 \cdot b_H} \right); \\ M_3^\Sigma = \frac{q_b \cdot X_{3i}^2}{2} + \frac{q_b \cdot X_{3i}^3}{1,2 \cdot b_H} = q_b \cdot X_{3i}^2 \cdot \left( 0,5 + \frac{X_{3i}}{1,2 \cdot b_H} \right);$$

при

$$X_{3i} = 0: \quad Q_3^\Sigma = 0; \quad M_3^\Sigma = 0;$$

при

$$X_{3i} = 0,2b_H: \quad Q_3^\Sigma = -0,3 \cdot b_H \cdot q_b; \quad M_3^\Sigma = \frac{0,16 \cdot b_H^2 \cdot q_b}{6};$$

На рис.5 и рис.6 представлены эпюры нагрузок для расчетных схем №1 и №2, а на рис.7 эпюры суммарных перерезывающей силы – “Q” и изгибающего момента – “M”, действующих на усиленную нервюру.

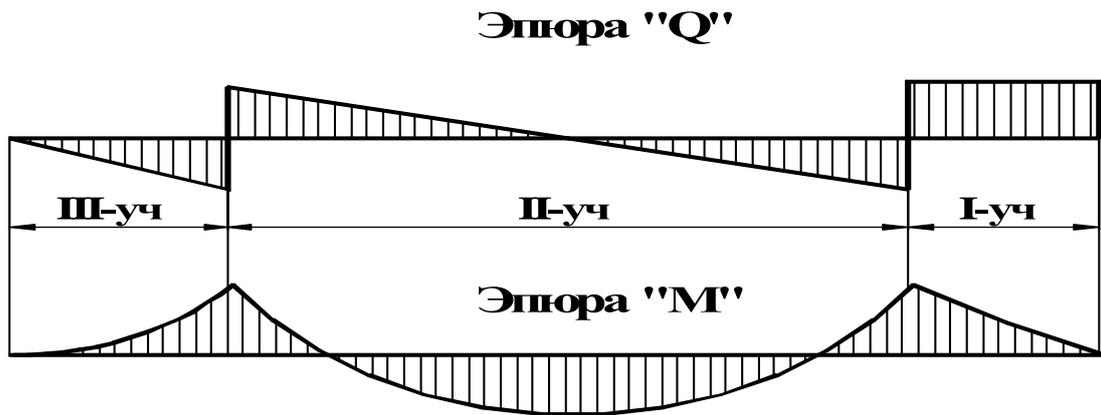


Рис.5. Эпюры "Q" и "M" для расчетной схемы 1.

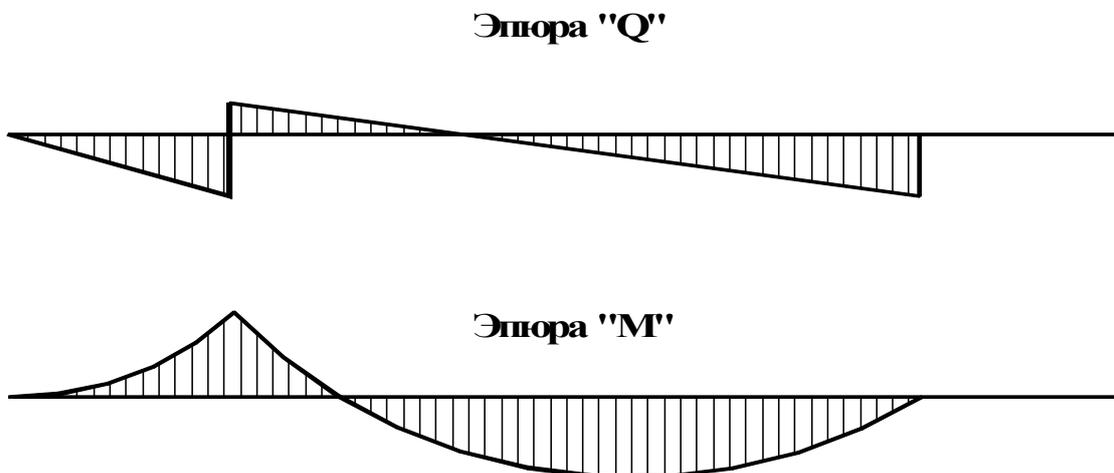
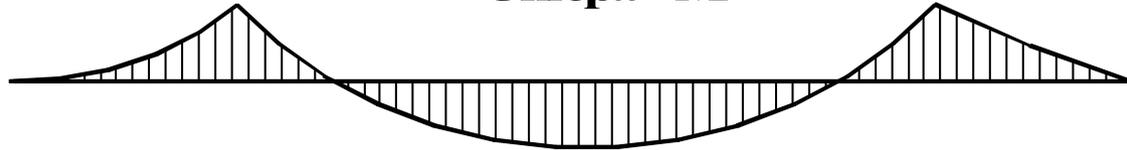


Рис.6. Эпюры "Q" и "M" для расчетной схемы 2.

Эпюра "Q<sup>Σ</sup>"



Эпюра "M<sup>Σ</sup>"



Эпюра суммарных нагрузок "Q<sup>Σ</sup>" и "M<sup>Σ</sup>"

## V. Алгоритм проектировочного расчета усиленной нервюры.

5.1. Сечения поясов нервюры определяются по наибольшему действующему изгибающему моменту:

$$F_{\Pi} = \frac{M_{\max}}{H_{CP} \cdot \sigma_B \cdot 0,9}$$

где:  $F_{\Pi}$  – площадь пояса и элемента обшивки, прилегающему к нему;  
 $H_{CP}$  – расстояние между центрами масс полков;  
 0,9 – коэффициент, учитывающий ослабление пояса отверстиями под заклепки (только для растянутого пояса).

Сжатый пояс необходимо проверить на местную потерю устойчивости по выражению:

$$\sigma_{кр.м} = \frac{0,9 \cdot K \cdot E}{\left(\frac{b}{\delta}\right)^2} = \sigma_{02}$$

где:  $b$  – ширина элемента полки;  
 $\delta$  – толщина элемента полки;  
 $E$  – модуль упругости;  
 $K$  – коэффициент, зависящий от размеров и условий закрепления элементов полки;  
 $K=0,9$ – для элементов полки с открытым краем;  
 $K=3,6$ – для элементов заделанными сторонами.

Значение  $\sigma_{кр}$  не должно превышать  $\sigma_{02}$  – условного предела текучести материала.

5.2. Толщина стенки нервюры рассчитывается на сдвиг от максимальной перерезывающей силы –  $Q_{max}$

$$\delta = \frac{Q_{max}}{H_{ст} \cdot \tau_{кр}}$$

где:  $\delta$  - толщина стенки;

$H_{ст}$  - высота стенки;

$\tau_{кр}$  - местное критическое напряжение стенки:

$$\tau_{кр.м} = \frac{0,9 \cdot K \cdot E}{\left(\frac{b}{\delta}\right)^2} \quad K = 5,6 + \frac{3,75}{\left(\frac{a}{b}\right)^2}$$

где: a – длинная сторона стенки;

b – короткая сторона стенки.

Если толщина стенки большая, необходимо ставить стойки (рис.8.).

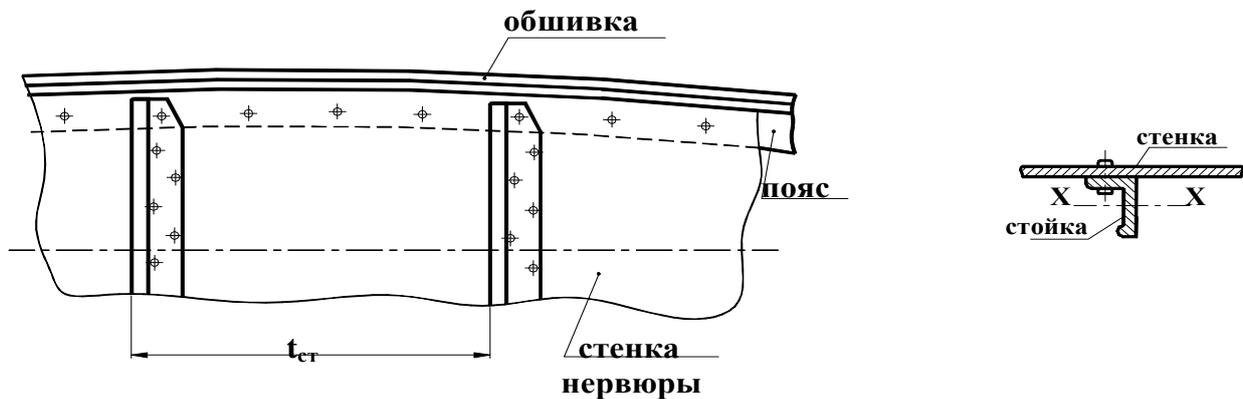


Рис.8. Конструктивная схема.

Шаг стоек можно принять:  $t_{ст} = (0,8 \dots 1,2) \cdot H_{ст}$

Потребная толщина стенки, при наличии стоек:

$$\delta_1 = \sqrt[3]{\frac{Q_{\max} \cdot b^2}{H_{\text{ст}} \cdot 0,9 \cdot K \cdot E}}$$

где:  $b=H_{\text{ст}}$ ;  $a=t_{\text{ст}}$  если  $t_{\text{ст}} \geq H_{\text{ст}}$   
или  $b=t_{\text{ст}}$ ;  $a=H_{\text{ст}}$  если  $t_{\text{ст}} < H_{\text{ст}}$

Толщина стенки –  $\delta_1$  округляется до стандартной толщины по каталогу сортамента листового материала.

### 5.3. Определение параметров стоек, подкрепляющих стенку нервюры.

В первом приближении можно принять:

$$I_{\text{стойк}} \approx 30 \cdot I_{\text{стенк}}; \quad F_{\text{стойк}} \approx 0,15 \cdot F_{\text{стенк}} \quad F_{\text{стенк}} = a \cdot \delta$$

где:  $I_{\text{стойк}}$  – момент инерции стойки относительно оси X–X (рис.9).

$$I_{\text{стенк}} = \frac{a \cdot \delta_1^2}{12} \quad \text{– момент инерции стенки}$$

где:  $a$  – длинная сторона стенки между стойками или поясами.

$F_{\text{стенк}}$  и  $F_{\text{стойк}}$  – соответственно площадь поперечного сечения стойки и участка стенки нервюры.

Подбираем сечение стойки по каталогу профилей.

Программа расчета заклепочных соединений.

Приведенный выше алгоритм расчет усиленных нервюр был реализованы в виде программы Rib для вычислительной машины ПЭВМ на алгоритмическом языке Delphi 5.

В числовом материале программы используются характеристики алюминиевых сплавов Д16, В95 и др.

Решение задач по конструированию и проектированию усиленных нервюр использованием программы Rib производится в диалоговом режиме позволяющим задать исходные данные с помощью клавиатуры или из файла, отправить программу на решение и получить ответ на экране дисплея либо на бумаге в виде распечатки или чертежа.

## ***ЛИТЕРАТУРА***

1. Войт Е.С., Ендогур А.И. и др. “Проектирование конструкций самолетов. М.: Маш-е, 1987г.
2. Гиммельфарб А.Л. “Основы конструирования в самолетостроении”. М.: Маш-е. 1980г.
3. Егер С.М., Мишин В.Ф. и др. “Проектирование самолетов”. М.: маш-е, 1983г.
4. Г.В.Новожилова. “Проектирование гражданских самолетов”. М.: Маш-е, 1991г.
5. Бирюк В.И. и др. “Методы проектирования конструкций самолетов”. М.: Маш-е, 1977г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   | стр |
|---|-----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ.....  | 3   |
| 1. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1 “КОНСТРУИРОВАНИЕ<br>ОДНОРЯДНЫХ И ДВУХРЯДНЫХ ЗАКЛЕПОЧНЫХ<br>ШВОВ”.....            | 4   |
| 2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2 “ПРОЕКТИРОВАНИЕ И<br>РАСЧЕТ ПРОУШИН НЕПОДВИЖНЫХ И ПОДВИЖНЫХ<br>СОЕДИНЕНИЙ”..... | 11  |
| 3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3 “ПРОЕКТИРОВАНИЕ<br>КРОНШТЕЙНА УЗЛА НАВЕСКИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ<br>ПОВЕРХНОСТЕЙ”.....    | 15  |
| 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4 “ПРОЕКТИРОВАНИЕ<br>УСИЛЕННЫХ НЕРВЮР”.....  | 25  |
| 5. ЛИТЕРАТУРА.....  | 36  |