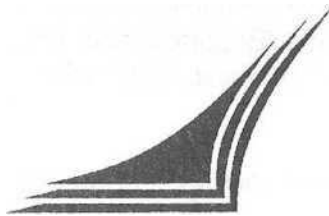


ФГБОУ ВО

“Воронежский государственный технический университет”

Кафедра “Самолетостроение”



## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к самостоятельной подготовке по дисциплине  
“Конструирование агрегатов планера” для студентов  
специальности 24.05.07 “Самолето- и вертолетостроение”  
очной формы обучения и дисциплине “Основы проектирования  
летательных аппаратов» для студентов специальности 2346484  
“Проектирование авиационных и ракетных двигателей”.

Воронеж 2016

УДК 629.735.33

Методические указания к самостоятельной подготовке по дисциплине “Конструирование агрегатов планера” для студентов специальности 24.05.07 “Самолето- и вертолетостроение” очной формы обучения и дисциплине “Основы проектирования летательных аппаратов” для студентов специальности 2346484 “Проектирование авиационных и ракетных двигателей” / ФГБОУ ВО “Воронежский государственный технический университет”; сост. С.К. Кириакиди. Воронеж, 2016. 15 с.

Настоящие методические указания предназначены для выполнения курсового проекта по дисциплине “Конструкция технических систем”, отдельные вопросы могут быть использованы при выполнении дипломного проекта.

Табл.1. Ил. 10. Библиогр.: 1 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Н.В. Лосев  
Ответственный за выпуск зав. кафедрой  
профессор В.И. Корольков

Печатается по решению редакционно - издательского совета Воронежского государственного технического университета

©ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет", 2016

Целью данных методических указаний является подробное знакомство с методикой расчета одного из важнейших узлов системы управления самолетом - узла управления рулем высоты.

Основные приемы проектирования, с учетом конструктивных особенностей, остается теми же и для узлов управления рулем направления, элеронами и т.д.

В каждом конкретном случае учитываются свои требования к проектируемому узлу, местные условия работы и особенности нагружения.

Основные требования к проектируемому узлу - прочность, жесткость, минимальный вес. Требования прочности и минимума веса - противоречивые требования, они выполняются с учетом норм проектирования авиационной техники, норм летной годности с учетом типа воздушного судна и условий его эксплуатации.

Данные методические указания могут быть использованы для самостоятельной подготовки студентов при изучении конструкции ЛА, а так же в дипломном проектировании и других инженерных расчетах.

Технические расчёты должны быть оформлены с учетом СТП ВГТУ 004 – 2003.

# Методика проектирования узла системы управления рулем высоты

## Исходные данные

Известна конструкция и размеры поперечных сечений силовых элементов лонжерона и нервюры, к которым крепится проектируемый узел и на которые передаются нагрузки при работе руля высоты. Известны координаты оси вращения качалки (т. А) управления рулем ( $a$  и  $b$ ) относительно указанного лонжерона и нервюры.

Заданы габариты плеч качалки  $r_1$  и  $r_2$ , угол раствора качалки  $\alpha$  (или, по-другому, угол между плечами качалки), а также отклонение качалки под действием сил  $P_1$  и  $P_2$  от нейтрального положения - угол  $\beta$  (Силы  $P_1$  и  $P_2$  перпендикулярны нейтральному положению качалки. Нейтральное положение качалки дано на рисунке 2 (штрих пунктирными линиями).

Необходимо выполнить расчеты и дать чертежи для отклоненного, рабочего положения качалки.

В задание на самостоятельную подготовку входит следующее:

### Задание

1. Спроектировать качалку и кронштейн для ее установки на лонжероне стабилизатора.
2. Предусмотреть усиление лонжерона и нервюры стабилизатора.
3. Провести проверочные расчеты элементов узла и элементов крепления.
4. Выполнить сборочный чертеж узла и рабочие чертежи качалки, кронштейна, фитингов.

На рисунке 1 дан общий вид стабилизатора, а на рисунке 2 - узел I - узел управления рулем высоты.

Рекомендована следующая последовательность проектирования.

# 1 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАЧАЛКИ

## Определение нагрузок, действующих на качалку

Известно, что силы  $P_1$  и  $P_2$  перпендикулярны нейтральному положению качалки.

Принята следующая расчетная схема – рисунок 3.

На качалку действуют нагрузки  $P_1$ ,  $P_2$  и их реакции  $R_{ax}$ ,  $R_{ay}$  неизвестными являются  $P_2$ ,  $R_{ax}$ ,  $R_{ay}$  они определены таким образом.

Плечи сил  $P_1$  и  $P_2$  относительно точки А соответственно  $h_1$  и  $h_2$

Определение плеч  $h_1$  и  $h_2$ .

$$\begin{aligned} AB &= h_1 = r_1 \times \cos \beta; \\ AC &= h_2 = r_2 \times \cos \beta, \end{aligned} \quad (1)$$

Условием равновесия качалки будет следующее уравнение моментов всех сил, действующих на качалку относительно т.А.

$$\sum M_A = 0 \quad \text{или: } P_1 \times h_1 - P_2 \times h_2 = 0$$

С учетом (1):

$$P_2 = P_1 \times r_1 / r_2$$

Известно (рисунок 3), что:  $\alpha = 90^\circ + \delta$

где  $\delta$  - угол между осью АУ системы координат ХАУ и осью АВ, соответствующей нейтральному положению одного из плеч качалки (рисунок 3).

Определение реакций действующих сил в т. А ( $R_{ax}$ ,  $R_{ay}$ )

Для определения реакций  $R_{ax}$ ,  $R_{ay}$  составлено два уравнения равновесия.

Сумма проекций всех действующих сил на ось АХ равна нулю.

$$\sum F_x = 0, \quad R_{ax} + P_1 \times \cos \delta = 0$$

Следовательно:

$$R_{ax} = -P_1 \times \cos \delta, \quad (2)$$

где  $\delta = \alpha - 90$



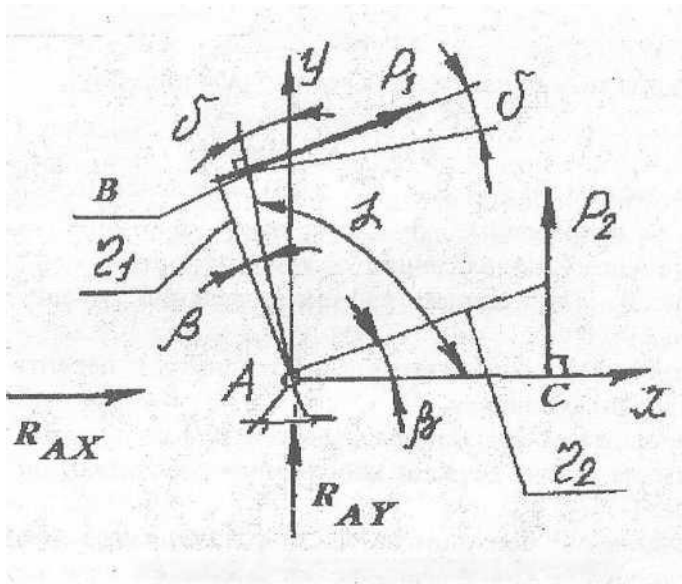


Рисунок 3 – Расчетная схема качалки

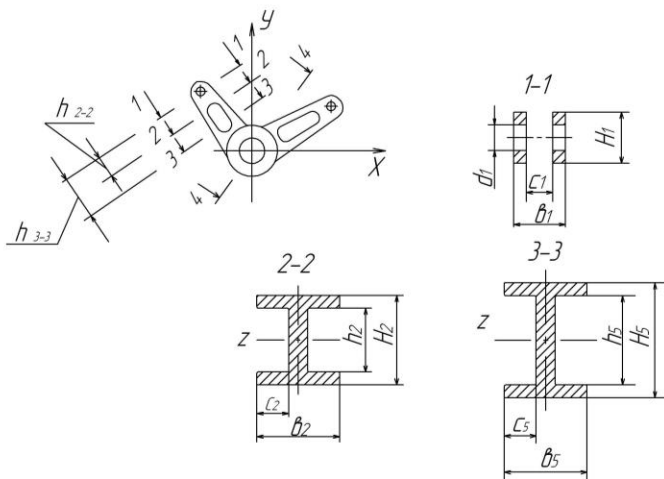


Рисунок 4 – Типовая качалка системы управления / сечение I-I, 2-2, 3-3 повернуты /

$$\sum F_y = 0$$

Откуда можно найти неизвестную реакцию  $R_{Ay}$ :

$$\begin{aligned} P_2 + P_1 \times \cos \delta + R_{Ay} &= 0, \\ R_{Ay} &= -P_2 - P_1 \times \sin \delta \end{aligned} \quad (3)$$

По знакам  $R_{Ax}$  и  $R_{Ay}$  (2) и (3) определено, что эти реакции направлены в сторону, противоположную положительному направлению соответствующих осей  $Ax$  и  $Ay$ , (рисунок 3). Показанные на рисунке 3 реакции имеют знак «минус».

Определив нагрузки, необходимо перейти к проектированию качалки.

Типовой вид качалки представлен на рисунке 4.

Каждое плечо качалки необходимо рассчитать по трем сечениям: 1-1, 2-2, 3-3.

Сечение 1-1 проходит по оси болта крепления качалки и тяги. Сечение 2-2 дано в середине плеча качалки. Сечение 3-3 - максимально удаленное от линии действия силы (оси болта крепления качалки и тяги) сечение.

Сечение 1-1 работает на срез.

Необходимо определить максимально допустимую нагрузку по срезу  $[P_{cp}]^{1-1}$  и сравнить ее с действующей.

При проектировании проушины качалки (сечение 1-1) необходимо чтобы:

$$[P_{cp}]^{1-1} > P_i \quad (i=1,2) .$$

При этом коэффициент запаса прочности по срезу должен составлять:

$$n_{cp} = \frac{[P_{cp}]^{1-1} - P_i}{[P_{cp}]^{1-1}} = 0,1 \div 0,4$$

где:

$$[P_{cp}]^{1-1} = [\tau_{cp}] \times F_{cp}$$

$$[\tau_{cp}] = 0,6\sigma_b$$

$$F_{cp} = (H - d_1) \times (b_1 - c_1)$$

$c_1$  - конструктивный размер зависит от параметров тяги, в первом приближении можно принять  $c_1 = 7 \div 10$  мм.



$d_1=5\div 6$ мм (диаметр болта) для нагрузок  $P_1=900\div 1500$ кг  
 $(b_1/2-c_1/2)=2,5\div 5$ мм.

Сечение 2-2 (также и сечение 3-3) воспринимает изгибные напряжения от силы  $P_i$  на плече  $h^{2-2}$  (для сечения 3-3 на плече  $h^{3-3}$ , рисунок 4), сжимающие для левого плеча качалки, от составляющей силы  $P_1$ ,  $(P_1 \sin\beta)$  и растягивающие для правого плеча от составляющей силы  $P_2$   $(P_2 \sin\beta)$ .

Изгибающий момент в сечении 2-2 составит:

$$M^{2-2}=P_i \times \cos\beta \times h^{2-2} \quad (i=1,2)$$

$i=1$  левое плечо

$i=2$  правое плечо.

Момент сопротивления сечения 2-2 относительно оси z:

$$W_z^{2-2}=b_2 \cdot H^2/6-2c_2 \cdot h^2/6 \quad (4)$$

Напряжения от изгибающего момента в сечении 2-2.

$$\sigma_M^{2-2} = M^{2-2} / W_z^{2-2} \quad (5)$$

Напряжение от сжимающей нагрузки в сечении 2-2 (для левого плеча):

$$\sigma_{сж}^{2-2} = \frac{P_i \cdot \sin\beta}{F^{2-2}} \quad (6)$$

где:

$F^{2-2}$ - площадь сечения 2-2.

Для правого плеча напряжение от растягивающей нагрузки во втором сечении правого плеча.

$$\sigma_p^{2-2} = \frac{P_2 \cdot \sin\beta}{F^{2-2}} \quad (7)$$

Суммарные напряжения для сечения 2-2 с учетом (4),(5),(6):

$$\begin{aligned} \sigma_{\Sigma}^{2-2} &= \sigma_M^{2-2} + \sigma_{сж}^{2-2} \text{ для левого плеча} \\ \sigma_{\Sigma}^{2-2} &= \sigma_M^{2-2} + \sigma_p^{2-2} \text{ для правого плеча} \end{aligned} \quad (8)$$

Напряжения, подсчитанные по формулам (8), будут максимальны для внутренней полки левого плеча (здесь сжимающие напряжения складываются) и наружной полки

правого плеча (складываются растягивающие напряжения).

Параметры  $c_2, b_2, h_2, H_2$  подбираются исходя требуемого коэффициента запаса прочности.

$$\eta = \frac{\sigma_B - \sigma_{\Sigma}^{2-2}}{\sigma_B} = 0,1 - 0,4$$

с учетом соотношений:

$$H_2 - h_2 = 5 \div 10 \text{ мм}; \quad b_2 - 2c_2 = 2 \div 4 \text{ мм}$$

Аналогично подбирается и рассчитывается сечение 3-3. Параметры  $b_1, b_2, b_3$  а также  $H_1, H_2, H_3$  должны быть соответственно увязаны между собой. Сечение 4-4 по ступице качалки представлено на рисунке 5.

## 2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРОНШТЕЙНА

### Определение нагрузок, действующих на кронштейн

Проектирование кронштейна необходимо начать с определения нагрузок.

На кронштейн действуют две силы  $R'_{ay}, R'_{ax}$ , равные по модулю силам  $R_{ay}, R_{ax}$ , но противоположно направленные, поэтому:

$$|R'_{ax}| = |R_{ax}| \quad |R'_{ay}| = |R_{ay}|$$

Далее проектируют проушину кронштейна - сечение 5-5 и определяют диаметр болта –  $d_6$  крепления качалки.

Сечение 5-5 работает на срез и растяжение (от силы  $R'_{ay}$  - на срез, от  $R'_{ax}$  - на растяжение).

$F_{cp}^{5-5}$  - площадь среза проушины кронштейна

$F_{cp}^{5-5}$  - площадь разрыва проушины кронштейна- площадь сечения 5-5.

$$F_{cp}^{5-5} = F_p^{5-5} = (b_5 - c_5) \cdot (H_5 - d_6) \quad (9)$$

Диаметр болта  $d_6$  определяется исходя из нагрузок, действующих на него по справочнику по суммарной нагрузке  $R^{\Sigma}$

$$R^{\Sigma} = \sqrt{(R'_{ax})^2 + (R'_{ay})^2} \quad (10)$$

Размеры проушины  $b_5$ ,  $c_5$ ,  $H_5$  определяются проектировочным расчетом с учетом следующего. В первом приближении можно принять, что:

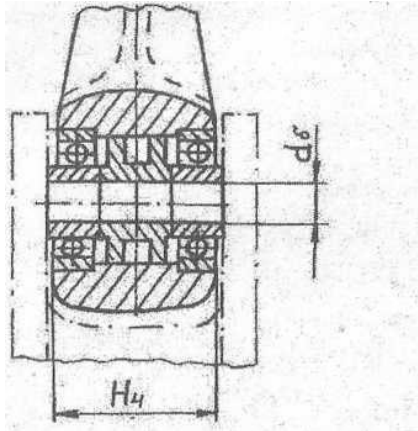


Рисунок 5 - Сечение ступицы качалки системы управления. Болт крепления качалки и кронштейна условно не показан

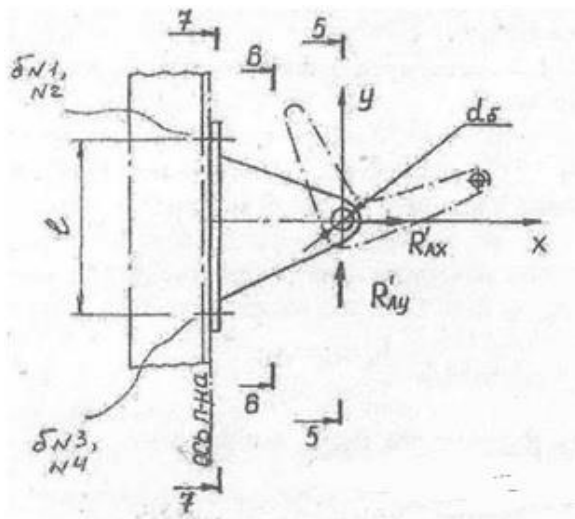


Рисунок 6 – Нагрузки, действующие на кронштейн

$$H_5 = (3,5 \div 4,0) d_6$$

Размер  $c_5$  может быть определен из расчета качалки (по размерам ступицы качалки):

$$c_5 = H_4 + (1,5 \div 2,0) \text{ мм.}$$

Размер  $b_5$  выбирается из двух соотношений как большая величина.

Первое соотношение:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{ср}} &= R'_{\text{ay}} / F_{\text{ср}}^{5-5} = R'_{\text{ay}} / (b_5 - c_5) \cdot (H_5 - d_6), \\ \sigma_{\text{ср}} &= (\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{ср}}) / \tau_{\text{в}} = 0,1 - 0,4. \end{aligned}$$

Второе соотношение:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{разр}} &= R'_{\text{ax}} / F_{\text{разр}}^{5-5} = R'_{\text{ax}} / (b_5 - c_5) \cdot (H_5 - d_6), \\ \sigma_{\text{р}} &= (\sigma_{\text{в}} - \sigma_{\text{разр}}) / \sigma_{\text{в}} = 0,1 - 0,4. \end{aligned}$$

Далее рассчитывают сечения 6-6 и 7-7. Методика расчета данных сечений аналогична. Разница состоит в уровне действующих нагрузок.

Сечение 6-6 расположено на расстоянии равном половине высоты кронштейна, т.е. на расстоянии  $a/2$  от подошвы кронштейна.

В сечении 6-6 действует растягивающая сила  $R'_{\text{ax}}$  и изгибающий момент:

$$M_{\text{и}}^{6-6} = R'_{\text{ay}} \cdot a/2 \quad (11)$$

В сечении 7-7 действуют следующие нагрузки - растягивающая сила  $R'_{\text{ax}}$  и изгибающий момент:

$$M_{\text{и}}^{7-7} = R'_{\text{ay}} \cdot a$$

Кроме того, известны из предыдущих расчетов следующие размеры:

$$b_5 = b_6 = b_7;$$

$$c_5 = c_6 = c_7;$$

Размеры  $e_6$  и  $e_7$  могут быть выбраны из следующих соотношений:

$$e_6 = e_7 = (b_5 - c_5) / 2 - [0 \div 1,5 \text{ мм}]$$

Проведем расчет сечения 7-7 (определим размер  $H_7$ ). Сечение 7-7 рассчитывается аналогично.

Размер  $H_7$  определяется проектировочным расчетом с учетом следующего:

$$\begin{aligned}\sigma_{и}^{7-7} &= M_{и}^{7-7} / W_z^{7-7}; \\ \sigma_p^{7-7} &= R'_{ax} / F^{7-7}\end{aligned}\quad (12)$$

где:  $W_z^{7-7}$  - момент сопротивления сечения 7-7 относительно оси z (см. рисунок 9).

$F^{7-7}$  - площадь сечения 7-7.

Суммарное напряжение в сечении 7-7:

$$\sigma_{\Sigma}^{7-7} = \sqrt{(\sigma_{и}^{7-7})^2 + (\sigma_p^{7-7})^2} \quad (13)$$

$$\sigma = (\sigma_{в} - \sigma_{\Sigma}^{7-7}) / \sigma_{в} = 0,1 - 0,4$$

при этом:

$$W_z^{7-7} = b_7 \cdot H_7^2 / 6 + c_7 \cdot e_7^2 / 6 - c_7 \cdot H_7^2 / 6 \quad (14)$$

$$F^{7-7} = H_7 \cdot b_7 + c_7 \cdot e_7 - c_7 \cdot H_7.$$

### 3 РАСЧЕТ КРЕПЛЕНИЯ КРОНШТЕЙНА

Кронштейн крепится к лонжерону четырьмя болтами (б) - №1, №2, №3, №4 (рисунок 6).

Необходимо определить нагрузки, действующие на каждый из болтов и по данным нагрузкам подобрать из справочника диаметры болтов. Предполагается использовать болты из материала 30ХГСА.

Все четыре болта испытывают нагрузку на разрыв от силы  $R'_{ax}$ .

Кроме того, от изгибающего момента два болта №3 и №4 догружаются осевыми силами на разрыв, два другие болта №1 и №2 наоборот разгружаются.

При этом все четыре болта работают на срез от силы  $R'_{ay}$ .

**Расчет крепления кронштейна выполняют в следующей последовательности:**

$R_{P(разр)1} = R_{P(разр)2} = R_{P(разр)3} = R_{P(разр)4} = R'_{ax} / 4$  нагрузка на разрыв, приходящаяся на каждый из четырех болтов от силы  $R'_{ax}$

$R_{M(разр)3} = R_{M(разр)4} = R'_{ay} \cdot a / 2 \cdot l$  - нагрузка на разрыв,

приходящаяся на болт №3 и №4 от изгибающего момента

Так как болты №1 и №2 разгружаются на разрыв от момента  $M = R'_{ay} \cdot a$ , то далее рассмотрены более нагруженные болты №3 и №4.

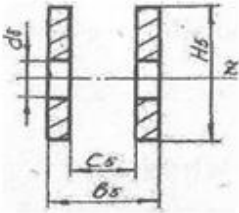


Рисунок 7-Сечение проушины кронштейна

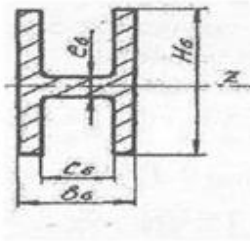


Рисунок 8-Сечение 6-6 кронштейна

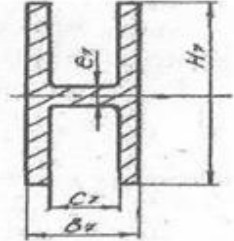


Рисунок 9-Сечение 7-7 кронштейна

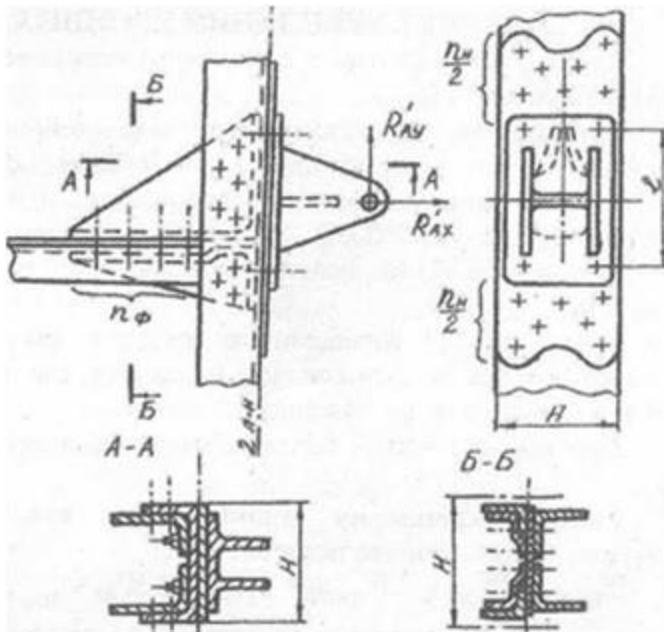


Рисунок 10 – Усиление лонжерона и нервюры

Суммарная нагрузка на разрыв болта №3 и болта №4:

$$P_{\Sigma(\text{разг})3} = P_{\Sigma(\text{разг})4} = R'_{ax}/4 + R'_{ay} \cdot a/2 \cdot l$$

где  $l$  - расстояние между болтами вдоль лонжерона (рисунок 6). Нагрузка на срез:

$$P_{(cp)1} = P_{(cp)2} = P_{(cp)3} = P_{(cp)4} = R'_{ay}/4$$

По двум нагрузкам -  $P_{\Sigma(\text{разг})}$  и  $P_{(cp)3}$  из справочника определяют диаметр б. №3 и б. №4. Диаметры болтов №1 и №2 выбираются аналогично б. №3 и б. №4.

#### 4 УСИЛЕНИЕ ЛОНЖЕРОНА И НЕРВИЮРЫ СТАБИЛИЗАТОРА

Для усиления лонжерона от местных нагрузок, приходящихся на кронштейн и передаваемых на лонжерон установлена накладка, толщина которой равна толщине стенки лонжерона.

Для усиления нервюры и корректной передачи нагрузок на нее от кронштейна использованы четыре фитинга - по два от оси нервюры, (см. рисунок 10).

##### Расчет крепления наклейки к лонжерону

Крепление наклейки к стенке лонжерона рассчитывается от действующей вдоль оси лонжерона нагрузки - в данном случае от силы  $R'_{ay}$ .

Крепление осуществляется заклепками, которые частично могут быть установлены впотай под подошвой кронштейна и равными частями перед подошвой кронштейна и за ней.

Общее количество заклепок крепления наклейки к стенке лонжерона ( $P_H$ ) рисунок 10 может быть определено следующим образом:

$$P_H = R'_{ay} / [P_{cp}]$$

где  $[P_{cp}]$  - максимальная нагрузка на срез, которую может выдержать заклепка данного диаметра.

Для заклепки диаметром  $d = 3$  мм -  $[P_{cp}]_{\emptyset 3} = 170$  кг

Для заклепки диаметром  $d = 3,5$  мм -  $[P_{cp}]_{\emptyset 3.5} = 270$  кг

Для заклепки диаметром  $d = 4$  мм -  $[P_{cp}]_{\emptyset 4} = 339$  кг

Для заклепки диаметром  $d = 5$  мм -  $[P_{cp}]_{05} = 471$  кг  
Минимальное количество заклепок  $n_n = 14$  шт.

### Крепление фитингов

Фитинги (4 шт.) крепятся одной полкой (вдоль оси лонжерона) к стенке лонжерона (болтами крепления кронштейна и совместно - заклепками крепления усиливающей накладки и стенки лонжерона), другой полкой (вдоль оси нервюры) к полке и стенке нервюры.

Крепление фитингов к полке и стенке нервюры рассчитывается от нагрузки  $R'_{ax}$ .

В первом приближении можно принять, что на каждую полку фитинга вдоль оси нервюры приходится сила  $R'_{ax} / 4$ .

Количество заклепок ( $n$ ) рисунок 10 крепления данной полки фитинга (каждого) к нервюре может быть подсчитано следующим образом:

$$n = R'_{ax} / 4 [P_{cp}]$$

Минимальное количество  $n = 5$  шт. Кроме того, полка фитинга, приходящаяся под горизонтальную полку пояса лонжерона (рисунок 10), крепится (в данном месте) совместно с полкой лонжерона и обшивкой с помощью заклепок установленных по обшивке.

Толщины полок фитингов приравниваются к соответствующим толщинам полок нервюры и лонжерона (к которым они прилегают), а общие габариты определяются исходя из габаритов кронштейна и количества заклепок крепления к нервюре по с учетом стандартного шага между заклепками:

$$t = (4 \div 5) d$$

Определив все толщины и габариты деталей, выполняют сборочный чертеж узла и далее - рабочие чертежи входящих деталей и спецификацию.



## Варианты заданий

№	$\alpha^\circ$	$\beta^\circ$	$P_1$ (Н)	$r_1$ мм	$r_2$ мм	$a$ мм	$b$ мм	$B_1$ мм	$t_1$ мм	$t_2$ мм	$H_1$ мм	$e_1$ мм	$e_2$ мм	$e_3$ мм
1.	90	16	7000	140	150	60	0	25	3,0	2,0	100	18	18	1,5
2.	96	16	8000	130	130	70	10	20	2,5	1,8	120	16	16	1,8
3.	94	15	9000	140	140	50	20	24	2,5	1,8	110	18	16	2,0
4.	90	14	10000	140	140	50	10	27	3,0	2,0	115	16	16	2,0
5.	94	15	10000	120	140	70	0	25	2,5	1,8	118	18	16	1,8
6.	91	12	9500	125	140	60	15	24	2,5	2,0	116	18	15	1,8
7.	95	14	8600	140	135	55	10	20	2,5	1,8	115	16	16	2,0
8.	96	18	9600	135	145	60	20	26	2,5	1,5	124	18	16	1,8
9.	102	21	9200	125	135	70	5	23	2,5	1,8	118	16	16	1,8
10	98	16	8100	120	140	50	0	27	2,5	2,0	114	18	18	2,0
11	95	10	9000	125	135	55	15	25	2,5	1,8	108	16	15	1,8
12	96	16	9200	135	145	75	15	24	2,5	2,0	120	16	16	1,8
13	95	1,4	9500	110	125	70	10	25	2,5	1,8	120	18	16	2,0
14	97	16	9100	125	140	65	15	23	3,0	2,0	118	18	18	1,5
15	96	19	9200	140	150	75	20	25	2,5	2,0	110	16	15	1,8
16	93	16	9500	150	140	70	15	27	2,5	1,8	105	18	15	1,8
17	91	18	11000	135	150	65	15	20	2,5	1,8	114	16	16	2,0
18	95	14	8900	150	165	70	20	26	3,0	2,0	118	16	15	1,5
19	92	17	11500	160	170	90	20	25	2,5	1,8	115	16	16	2,0
20	95	19	10600	150	160	86	15	24	2,5	1,8	116	18	16	2,0
21	92	16	9700	125	160	87	10	23	3,0	2,0	110	18	18	1,8
22	91	18	9600	160	125	86	15	25	2,5	2,0	108	16	16	1,8
23	95	15	8700	120	150	87	10	27	3,0	1,8	118	18	16	1,5
24	92	18	9100	140	155	82	10	24	2,5	2,0	116	18	16	1,8
25	94	15	9200	125	155	85	15	26	3,0	2,0	114	16	16	2,0
26	93	16	10400	135	160	87	10	25	2,5	2,0	118	16	16	2,0
27	95	14	10100	160	125	86	15	17	3,0	2,0	118	18	16	2,0

Вопросы для самостоятельной проверки:

- 1 Принцип навески (схема) руля высоты.
- 2 Назначение качалки управления.
- 3 Выбор местоположения качалки управления.
- 4 Нагрузки, действующие на качалку.
- 5 Типовое поперечное сечение плеч качалки.
- 6 Конструкция кронштейна для установки качалки.
- 7 Уравнение равновесия качалки.
- 8 Передача нагрузки от качалки на кронштейн.
- 9 Крепление кронштейна к лонжерону стабилизатора.
- 10 Наиболее опасные сечения качалки от действующих нагрузок.
- 11 Определение напряжений, действующих в сечениях качалки и кронштейна.
- 12 Конструктивный подход для определения параметров поперечного сечения кронштейна и качалки.
- 13 Определение реакций, действующих на кронштейн.
- 14 Определение нагрузок на болты крепления кронштейна.
- 15 Определение геометрических параметров болтового соединения крепления кронштейна к лонжерону стабилизатора.
- 16 Альтернативный вариант исполнения качалки.
- 17 Альтернативный вариант исполнения кронштейна.
- 18 Минимизация массы кронштейна и качалки.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к самостоятельной подготовке по дисциплине  
«Конструирование агрегатов планера» для студентов  
специальности 24.05.07 «Самолето- и вертолетостроение»  
очной формы обучения и дисциплине «Основы проектирования  
летательных аппаратов» для студентов специальности 2346484  
«Проектирование авиационных и ракетных двигателей».

Составители:

Кириакиди Сергей Константинович

В авторской редакции

Подписано в печать

Формат 60×84/16. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. печ. л. 1,1. Уч.-изд. л. 0,9. Тираж 30 экз. «С» 398.

Зак. №

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический  
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14