

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Кафедра аэродинамики, конструкции и прочности  
летательных аппаратов

Ефимова М.Г.

**ПОСОБИЕ И ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ**  
к контрольной работе по дисциплине  
**ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ И АВИАДВИГАТЕЛИ, ЧАСТЬ 1**  
*для студентов 3 курса специальности 131000*  
*заочного обучения*

**Москва – 2003**

Рецензент д.т.н., проф. Ципенко В.Г.

Ефимова М.Г.

Пособие и варианты заданий к контрольной работе по дисциплине «Летательные аппараты и авиадвигатели, часть 1».—М.: МГТУГА.—2003. 11 с.

Данное пособие издается в соответствии с учебным планом для студентов 3 курса специальности 131000 заочного обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 21.10.03 и методического совета 09.10.03.

**Содержание**

1. Введение .....	4
2. Рекомендуемая литература .....	4
3. Оформление работы.....	4
4. Краткие теоретические сведения .....	5
5. Задание .....	8
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	9
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	10
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....	10
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 .....	11

## **1. Введение**

Настоящие методические указания содержат в себе варианты контрольной работы, а также общие рекомендации по их выполнению. В данной контрольной работе студентам необходимо провести расчет на прочность авиационной тяги управления, а также определить диапазон отклонения руля высоты в данной конфигурации системы управления ЛА.

К выполнению контрольной работы следует приступить после проработки теоретической части курса «Летательные аппараты и авиадвигатели, часть 1». Рекомендации по изучению дисциплины с ссылками на литературу по соответствующим разделам изложены в [1].

## **2. Рекомендуемая литература**

1. Ефимов В.В., Ефимова М.Г. Пособие по изучению дисциплины «Летательные аппараты и авиадвигатели, часть 1» для студентов специальности 0131000 всех форм обучения. М.: МГТУГА, 2002. — 16 с.

2. Никитин Г.А., Баканов Е.А. Основы авиации. М.: Транспорт, 1984.— 264 с.

3. Воскобойник М.С. и др.; под общ. редакцией Миртова К.Д. Конструкция и прочность летательных аппаратов ГА. М.: Машиностроение, 1991. — 448 с.

## **3. Оформление работы.**

1. Работа оформляется на листах формата А4.
2. На титульном листе должен быть записан номер зачетной книжки.
3. Все исходные данные, графики и схемы должны присутствовать в соответствующем разделе работы.
4. Все производимые расчеты должны быть представлены в работе.

#### 4. Краткие теоретические сведения

##### *Системы управления ЛА*

Система управления – это совокупность устройств, обеспечивающих работу средств управления внешними силами и моментами, действующими на ЛА, а также перемещение агрегатов, частей ЛА и изменение режима работы авиационных двигателей.

Система устройств, обеспечивающих непрерывное воздействие на рули ЛА и авиадвигатели, называется основным управлением. Устройства, служащие для приведения в действие дополнительных средств управления (механизация, шасси, тормоза и т.д.) называются дополнительным управлением.

Технические требования к системам управления определены эксплуатационным путем и изложены в НЛГС. Ниже приведены некоторые из основных технических требований к системам управления.

1. При управлении ЛА движения рук и ног летчика должны соответствовать естественным рефлексам человека. Поворот командных рычагов в определенном направлении должен вызвать вращение ЛА в том же направлении.

2. Кинематическое запаздывание по времени движения рулей относительно командных рычагов должно быть минимальным.

3. Управление ЛА не должно требовать от летчика больших усилий.

4. Полные усилия на командных рычагах, потребные для управления ЛА, и усилия, необходимые для преодоления сил трения в проводке, не должны превышать допустимых значений.

5. Усилия на рычагах должны плавно возрастать при увеличении отклонения рычага от нейтрального положения.

6. Обеспечение достаточных для всех возможных эксплуатационных режимов полета углов отклонения рулей.

7. Требования по обеспечению надежности функционирования и удобства обслуживания.

8. Резервирование системы управления должно обеспечивать безопасный полет при отказе.

9. Должна быть исключена возможность опасных колебаний.

10. Деформация конструкции ЛА не должна вносить существенных искажений в работу системы управления.

### Кинематика управления

Основная характеристика кинематической схемы основного управления – это передаточное число  $K = \frac{d\delta_p}{d\theta}$ , где  $\delta_p$  – угол отклонения руля,  $\theta$  – угол отклонения командного рычага управления (рис. 1).

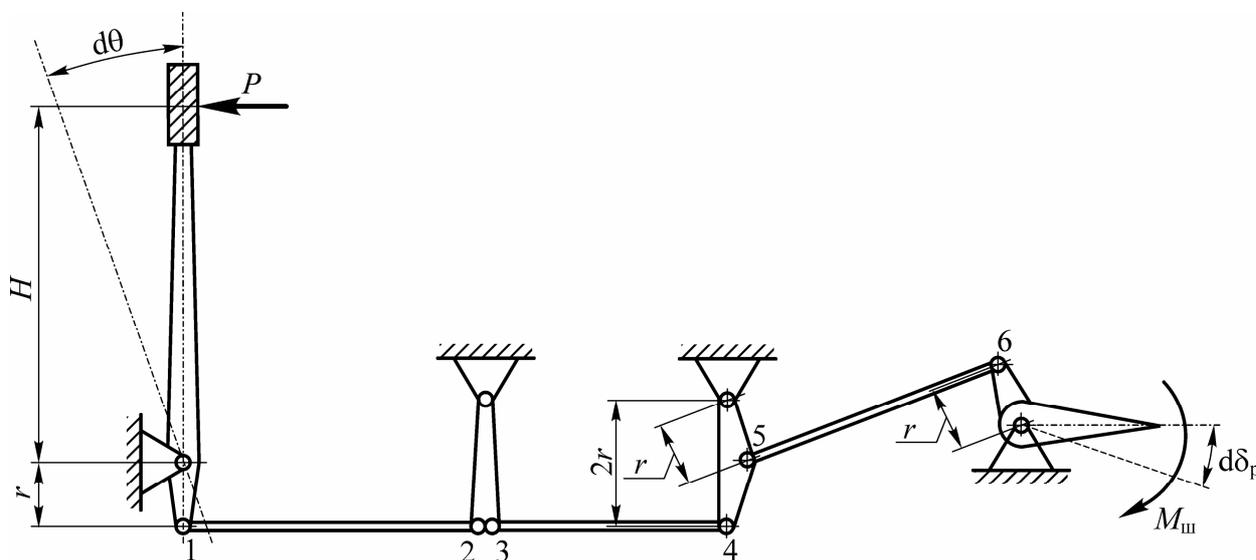


Рис. 1. Схема проводки управления рулем высоты

Исходя из принципа возможных перемещений и пренебрегая трением, запишем:

$$M_{ш} d\delta_p = PHd\theta, \text{ где}$$

$M_{ш}$  – шарнирный момент руля,

$P$  – усилие на командном рычаге.

И, следовательно, передаточное число:

$$K = \frac{d\delta_p}{d\theta} = \frac{PH}{M_{ш}}.$$

Диапазон изменения угла  $\delta_p$  определяется условиями управляемости, диапазон изменения угла  $\theta$  – компоновкой рычагов управления в кабине.

### Расчет на прочность деталей управления

Расчет ведется на основе прочностных требований НЛГС в следующем порядке.

1. Определение нагрузок на командные рычаги.
2. Определение усилий в тягах и других деталях. Для этого последовательно просматривают равновесие командного рычага и других узлов. Для системы управления, представленной на рис. 1, усилия в тягах управления будут определяться следующим образом:

$$S_{1-2} = \frac{PH}{r}; S_{3-4} = S_{1-2}; S_{5-6} = \frac{2r}{r} S_{3-4} = 2S_{3-4}.$$

3. Подбор сечений тяг. Расчет ведется по разрушающим нагрузкам. Для этого действующие эксплуатационные усилия в тягах  $S$  должны быть умножены на коэффициент безопасности  $\eta = 1,5 \dots 2,0$ :  $S^P = \eta S$ . За разрушающее напряжение принимается предел прочности для данного материала  $\sigma_B$  с учетом коэффициента концентрации напряжения и ослабления сечения трубы отверстиями  $k = 0,8$ :  $\sigma^P = k \sigma_B$ .

Площадь поперечного сечения каждой тяги определяется по усилиям в тягах:  $F = \frac{S^P}{\sigma^P}$ . По таблице, приведенной в Приложении 2, следует подобрать сечение тяги из стандартного ряда.

4. Проверка прочности тяги на сжатие.

По известным характеристикам сечения тяги определяем радиус инерции  $i = \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{4}$  (см. рис. 2) и гибкость  $l/i$  тяги. Затем определяем критическое напряжение потери устойчивости тяги  $\sigma_K$  по графику в Приложении 3.

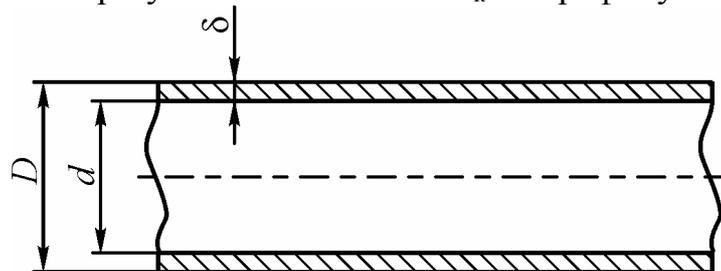


Рис. 2. Продольное сечение тяги

При этом должно выполняться условие  $\sigma < \sigma_k$ , где  $\sigma$  – действующие напряжения в тяге. Действующие напряжения будут равны:  $\sigma = \frac{Sp}{F^*}$ , где  $F^*$  – площадь стандартного сечения тяги. Если это условие не выполняется следует подобрать тягу большего поперечного сечения и радиуса инерции и повторить проверочный расчет на сжатие.

5. Результаты расчета на прочность должны быть представлены в виде таблицы, приведенной в Приложении 4.

После проведения прочностного расчета необходимо определить угол отклонения руля высоты  $\delta_p$  при отклонении командного рычага на угол  $\theta$ . Для этого сначала нужно определить передаточное число проводки управления по формуле  $K = \frac{PH}{S_{5-6}r}$  (для тяги, приведенной на рис. 1), а затем найти

угол отклонения руля высоты:  $\delta_p = K\theta$ .

## 5. Задание

На рисунке в Приложении 1 представлена схема управления рулем высоты. На каждую штурвальную колонку действует эксплуатационная нагрузка  $P = (1800 + 2n)$  Н. Геометрические характеристики:  $H = (80 + n)$  см,  $x = (8 + 0,2m)$  см,  $l_{1-2} = (130 + n)$  см,  $l_{3-4} = (100 + n)$  см,  $l_{5-6} = (120 + n)$  см. Тяга изготовлена из материала Д16, модуль упругости материала тяги  $E = 7 \times 10^{10}$  Па, предел прочности  $\sigma_b = 440 \times 10^6$  Па. Угол отклонения штурвала  $\theta = (15 + 0,4n)^\circ$ .

Здесь  $n$  – последняя цифра номера зачетной книжки,  $m$  – предпоследняя цифра номера зачетной книжки.

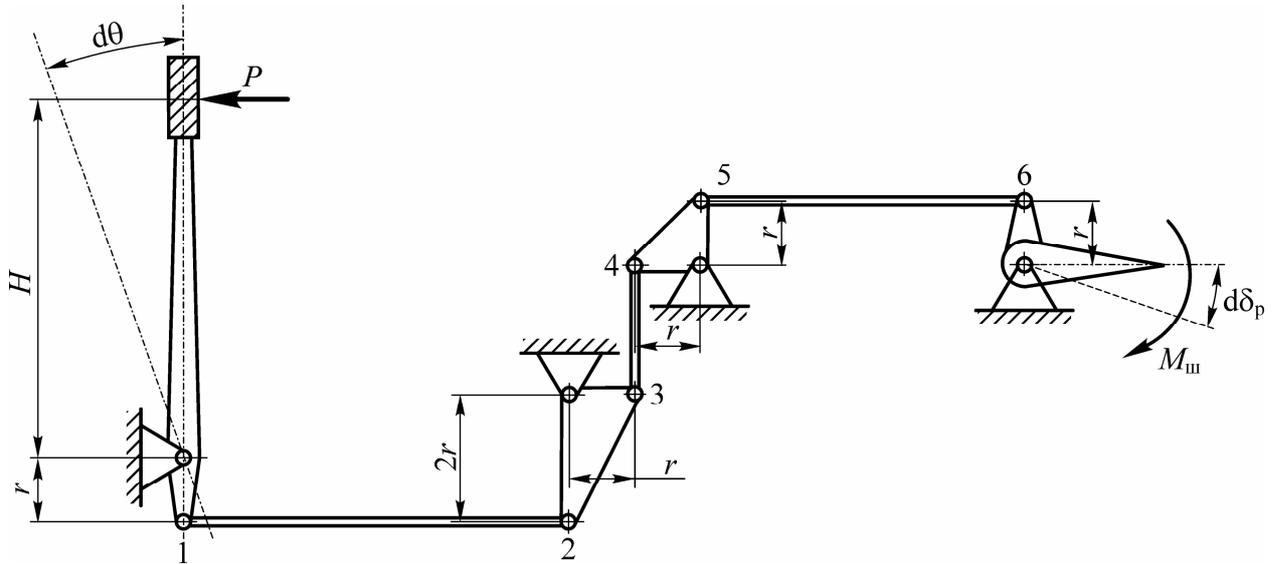
Схема системы управления выбирается следующим образом: студенты, чей номер зачетной книжки оканчивается на цифры 1, 2, 3, выбирают вариант № 1; студенты, чей номер зачетной книжки оканчивается на цифры 4, 5,

6, выбирают вариант № 2; студенты, чей номер зачетной книжки оканчивается на цифры 7, 8, 9, 0, выбирают вариант № 3.

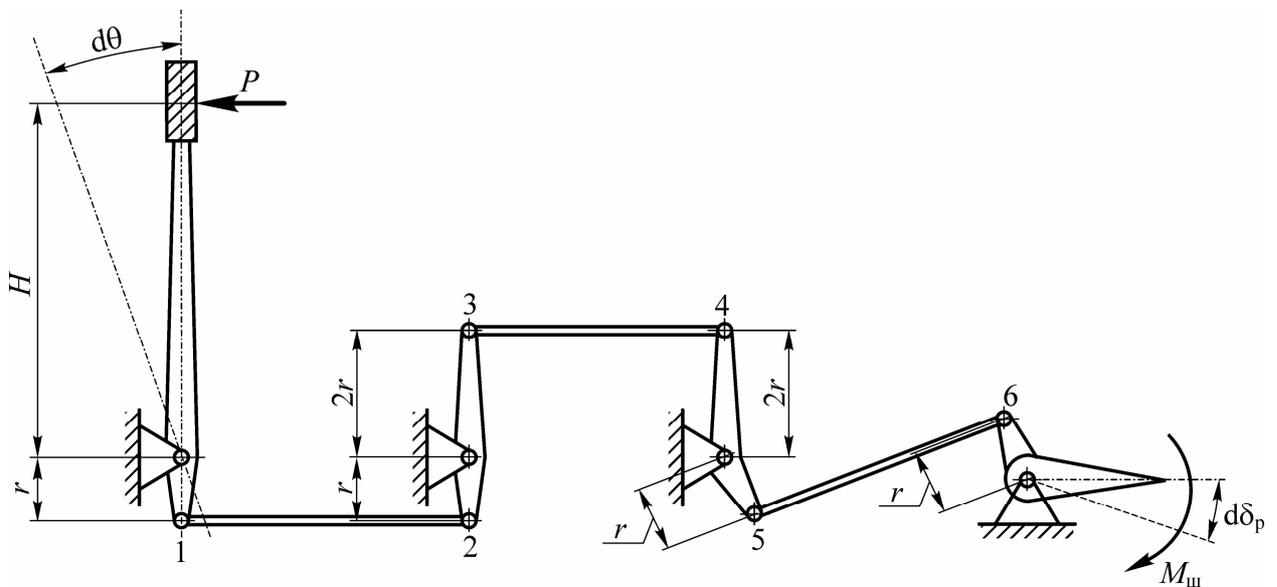
## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Схемы системы управления

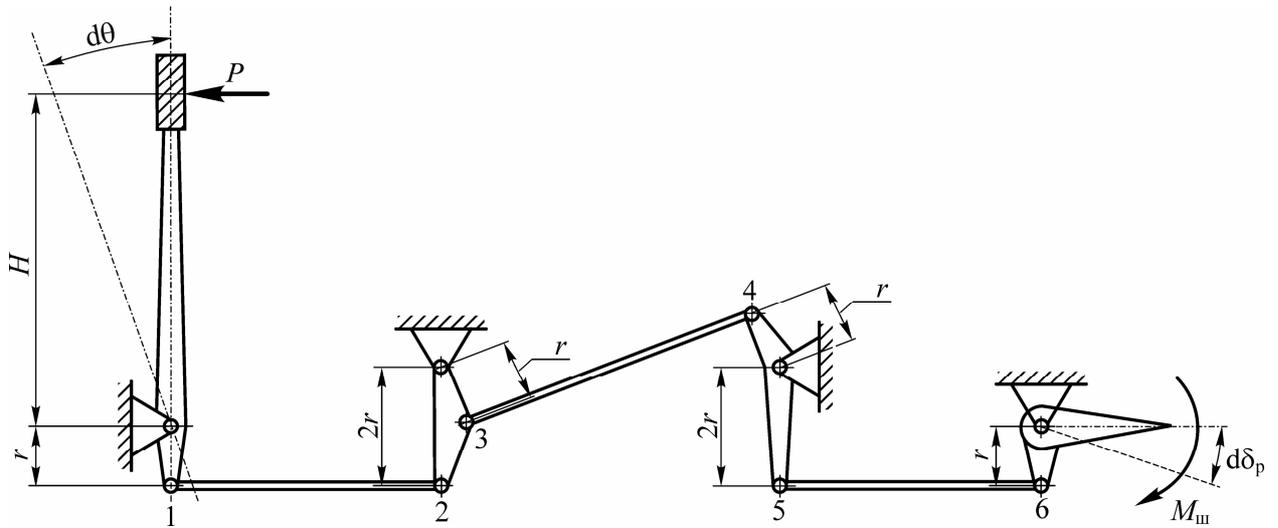
#### Вариант 1



#### Вариант 2



**Вариант 3**

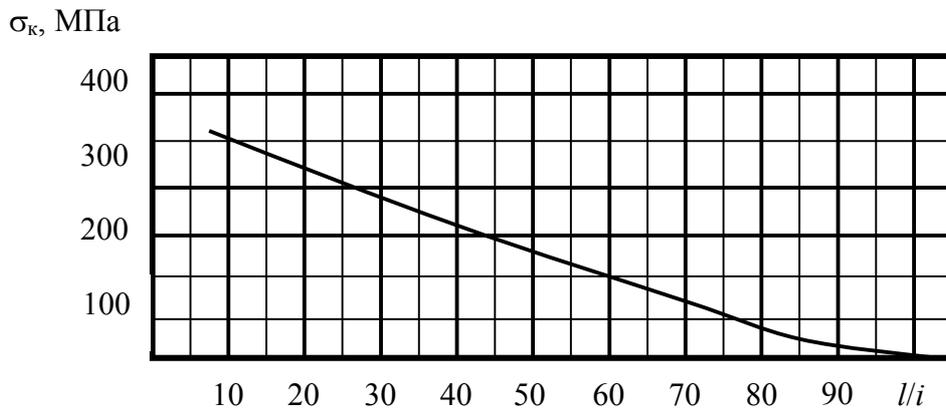


**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

Стандартный ряд сечений тяг

$D \times \delta,$	16×1,5	18×1,5	20×1,5	22×1,5	25×1,5	28×1,5	32×1,5	32×2	35×2	38×1,5
мм×мм	40×1,5	40×2	45×1,5	45×2	50×1,5	50×2				

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3**



## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

$H = \dots \text{ м}, r = \dots \text{ м}, P = \dots \text{ Н}, l_{1-2} = \dots \text{ м}, l_{3-4} = \dots \text{ м}, l_{5-6} = \dots \text{ м}$			
Параметр	Тяга 1–2	Тяга 3–4	Тяга 5–6
1. Эксплуатационное усилие в тяге $S$ , Н			
2. Разрушающее усилие в тяге $S^p$ , Н			
3. Площадь поперечного сечения тяги расчетная $F$ , м <sup>2</sup>			
4. Площадь поперечного сечения стандартной тяги $F^*$ , м <sup>2</sup>			
5. Характеристики сечения тяги: $D \times d$ , мм $i$ , см			
6. Гибкость тяги			
7. Действующие напряжения в тяге $\sigma$ , Н/м <sup>2</sup>			
8. Критическое напряжение в тяге $\sigma_k$ , Н/м <sup>2</sup>			