

Государственный комитет РСФСР  
по делам науки и высшей школы  
Самарский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Королева

К Р Е П Л Е Н И Е  
Р У Л Е В Ы Х   К А М Е Р   И  
С О П Е Л

(Иллюстративный материал по курсу  
"Конструкция и проектирование ЛА")

У т в е р ж д е н о  
редакционно-издательским  
советом института  
в качестве  
методических указаний  
для студентов

Самара 1991

Автор составитель и исполнитель

иллюстраций - доц. Юмашев Л.П.

УДК 629.7

Крепление рулевых камер и сопел (Иллюстративный материал по курсу "Конструкция и проектирование ЛА"): Методические указания / Авт.-сост. Юмашев Л.П.; Самарский авиац. ин-т, Самара, 1991. - 22с.

Приведен иллюстративный материал по конструкции крепления рулевых камер и сопел на ракетах с жидкими ракетными двигателями. К каждой иллюстрации дается краткое описание конструкции и простейшие зависимости для подбора сечений элементов.

Методические указания разработаны на кафедре летательных аппаратов и предназначены для выполнения курсовых работ и курсовых проектов по курсу "Конструкция и проектирование ЛА", а также для использования в дипломном проектировании.

## Предисловие

Управление полетом ракеты часто связано с необходимостью создания управляющих моментов относительно центра масс. Это осуществляется применением аэродинамических и реактивных сил, не проходящих через центр масс ракеты. Реактивные управляющие силы создаются либо путем отклонения вектора тяги от оси ракеты, либо применением специальных рулевых камер и сопел, отклонение которых от нейтрального положения приводит к появлению этих сил.

В данном разделе даются примеры установки рулевых двигателей внутри и вне корпуса ракеты, а также примеры установки рулевых сопел.

Рулевые ХРД имеют значительно меньшую (8...12%) тягу, чем маршевые неподвижные двигатели. Тяга двигателей предназначена, в основном, для увеличения скорости полета ракеты. Если вектор тяги по каким-либо причинам отклоняется от оси ракеты, то появляется т. наз. потеря тяги

$$\Delta R = R(1 - \cos \delta),$$

где  $R$  - тяга двигателя,

$\delta$  - угол отклонения двигателя от оси, параллельной оси ракеты.

Известно, что потеря тяги при применении рулевых ХРД больше, чем при повороте маршевых двигателей. Однако применение рулевых ХРД может быть оправдано в некоторых случаях, таких, например, как

- необходимость иметь меньшую производную управляющей силы по углу поворота или по ходу рулевой машинки;
- возможность при выключенных маршевых двигателях иметь меньшую перегрузку, тем самым более точно доводить скорость ракеты до заданной величины;
- принимать участие в разделении ступеней и т. п.

Рулевые ХРД имеют, как правило, две цапфы, которыми они крепятся на корпусе ракеты и вращаются в подшипниках качения, параметры которых выбираются, исходя из нагрузок, действующих на них, считая, что нагружение статическое. В некоторых случаях на подшипники действуют осевые силы.

Во всех случаях доншко ракет закрывается донной защитой с вырезами, необходимыми для монтажа двигателя или поворота его. Щель между донной защитой и двигателем герметизируется защитными конструкциями (см. раздел "Крепление маршевых двигателей").

В описаниях даны дополнительные указания по особенностям конструкции, по подбору сечений силовых элементов и пр.

Методические указания имеют 12 основных рисунков и являются двенадцатой частью иллюстративного материала по конструкции ракет.

Вторая часть - "Системы отделения головных частей и разделения блоков".

Третья часть - "Носовые отсеки".

Четвертая часть - "Головные обтекатели".

Пятая часть - "Сухие отсеки".

Шестая часть - "Льжи, крышки, створки".

Седьмая часть - "Стыки и соединения".

Восьмая часть - "Крепление приборов".

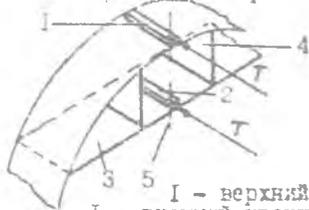
Девятая часть - "Баки ракет".

Десятая часть - "Арматура баков ракет".

Одиннадцатая часть - "Крепление маршевых двигателей"

### 1. Балочное крепление рулевых ЭРД (рис.1.2)

Каждая рулевая камера вращается на двух цапфах. При этом внешняя цапфа крепится в подшипнике (10) кронштейна (2), а внутренняя - в кронштейне балки. На рис.1.2 показана схема крепления рулевого ЭРД.



- 1 - верхний  
2 - внешний кронштейн,  
3 - балка,  
4 - стенка,  
5 - ось вращения

Рис.1.1

Балка, так же, как и стенка, образуется двумя профилями (6,9), скрепленными между собой плоскими листами - стенками (4,14).

Для увеличения жесткости по двум бокам рулевой камеры поставлены стенки (11), соединяющие профили (12) и донную зашивку.

Снаружи донная зашивка покрыта теплоизоляцией (7). Герметизация щели между рулевой камерой и донной зашивкой не производится.

Подбор сечений производить, исходя из того, что плоская балка работает, как балка на двух опорах, нагруженная усилием

$$T = \frac{R_P}{2},$$

Балочное крепление ручных ЖРД

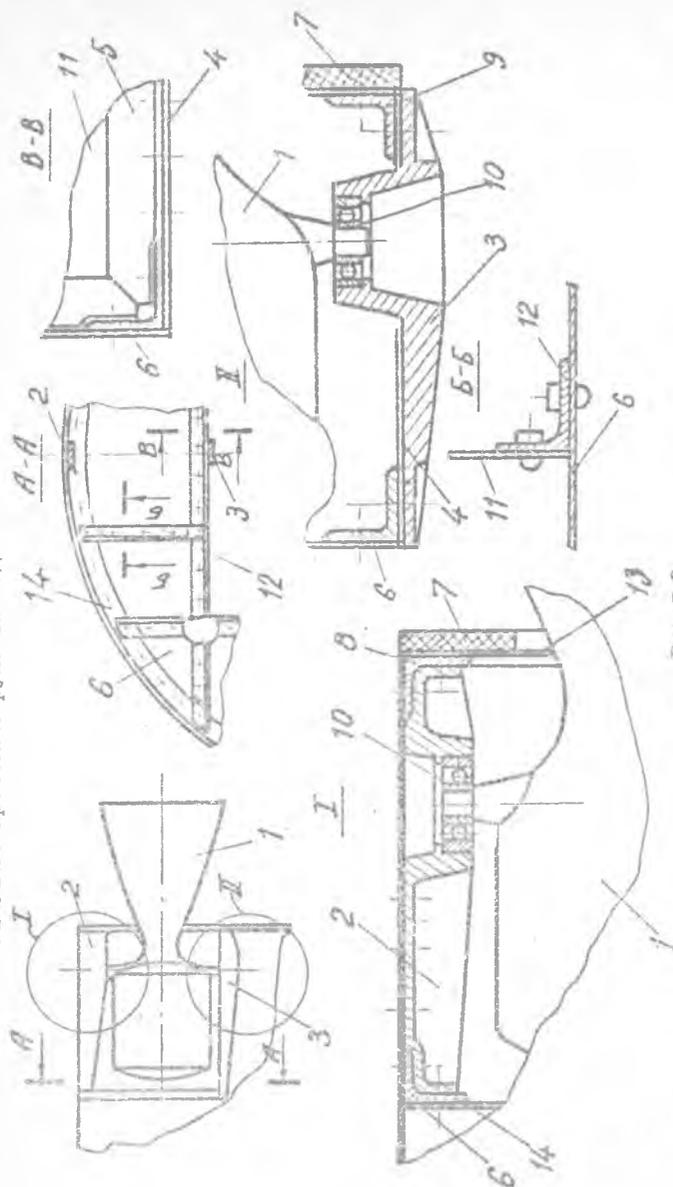


Рис. I.2

I - ЖРД, 2 - кронштейн, 3 - профиль, 4 - пластина, 5 - профиль, 6 - стенка, 7 - донный зашита, 8 - шпангоут, 9 - профиль, 10 - шарикоподшипник, II - стенка, 12 - шпангоут, 13 - стенка, 14 - шпангоут

где  $R_p$  - титя рулевой камеры.

Усилие от внешней цапфы передается через кронштейн (2) и фитинг (15) на продольный силовой набор.

## 2. Крепление рулевых КРД на профилях (рис.2.2)

Внешняя цапфа камеры крепится в подшипнике кронштейна (4), внутренняя - на профилях (2,9). При этом профиль (2) играет роль подкоса. На рис.2.1 показана схема крепления рулевой камеры.



Рис.2.1

Усилие тити от внешней цапфы передается на кронштейн (1). Усилие от внутренней цапфы передается на подкосы (3) и на профиль (5).

Профили (9) воспринимают усилия, если рулевая камера будет отклонена.

## 3. Крепление рулевых КРД на стержнях

### 3.1. Вариант # 1 (рис.3.1)

На рис.3.1 показано упрощенное крепление рулевого КРД на стержнях. Внешняя цапфа рулевой камеры (РК) крепится к фитингу (4), а внутренняя на кронштейне (9), передающим усилие через стержня (3) на шпангоут (8). Наклонные две стержня не могут передать усилие, не лежащее в их плоскости, поэтому и внешняя и внутренняя цапфы крепятся в подшипниках, используя гайки (10), так, чтобы РК представляла собой вместе с цапфами псевдостержень, способный воспринимать боковые усилия от стержней (3). Стержни, воспринимая нагрузку от отклоненной РК, работают на сжатие. Максимальное сжимающее усилие в этих стержнях

$$P_{cm} = \frac{R_p^2 l}{4} \left( \frac{\cos \delta}{\Delta x} + \frac{\sin \delta}{\Delta y} \right),$$

где  $R_p^2$  - титя рулевой камеры,  
 $\delta$  - максимальный угол отклонения рулевой камеры,  
 $\Delta x$  - расстояние между шпангоутами,  
 $\Delta y$  - отклонение конца стержня от плоскости симметрии,  
 $l$  - длина стержня.

Крепление рулевых штурвалов на профилях

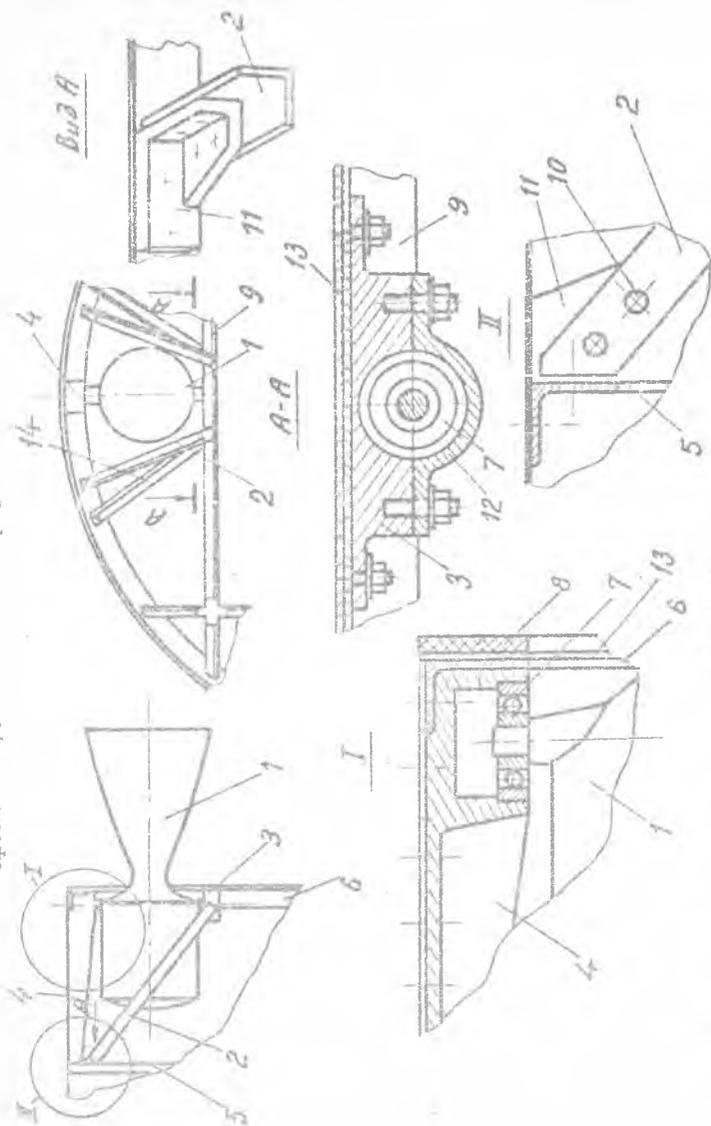
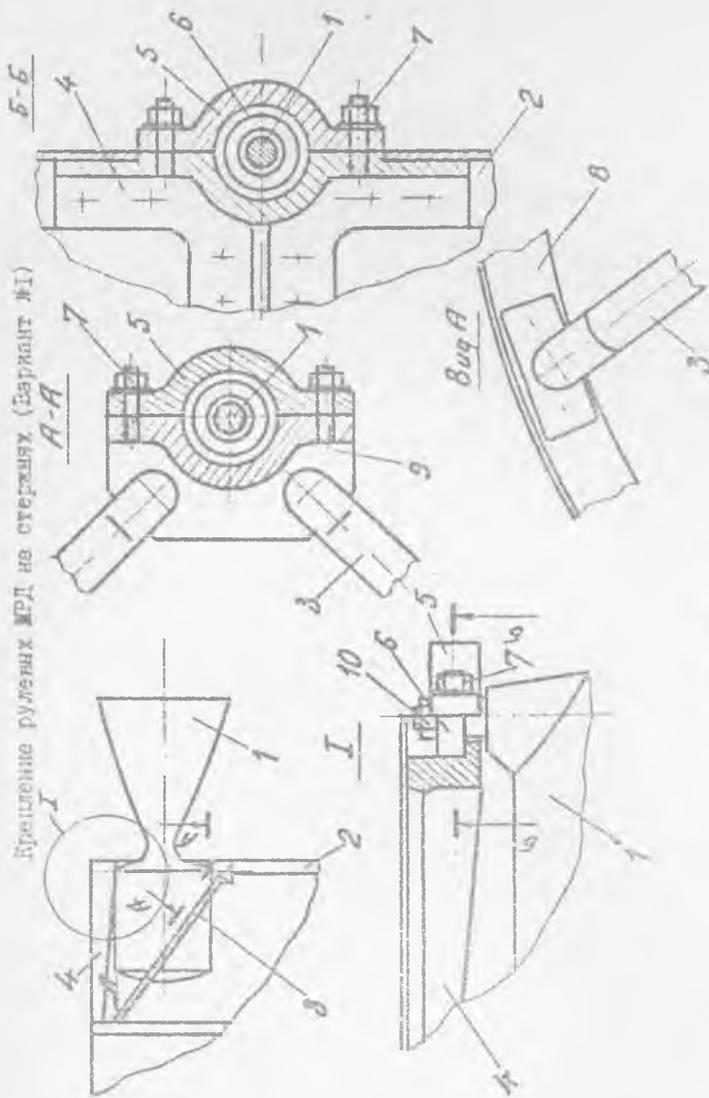


Рис. 2.2

1 - штурвал, 2 - подкос, 3 - кронштейн, 4 - кронштейн, 5 - шлангоут, 6 - шлангоут, 7 - подшипник, 8 - донная заплата, 9 - профиль, 10 - заплата, 11 - кронштейн, 12 - хомут, 13 - стенка



Крепление рулевых МРД на стержнях. (Вариант №1)

Рис. 3.1

- 1 - МРД, 2 - стержень-подкос, 3 - шплингут, 4 - кронштейн, 5 - хомут, 6 - подшипник,
- 7 - крепёж, 8 - шплингут, 9 - кронштейн, 10 - гайка

При этом усилия стержень не должен терять устойчивость, т.е. должно выполняться условие

$$P_{\text{ст}}^0 \leq P_{\text{ст}}$$

где  $P_{\text{ст}}^0 = \frac{\pi^2 EJ}{l^2}$  - критическое усилие сжатия стержня,

$E$  - модуль упругости материала стержня,

$J$  - момент инерции сечения стержня.

### 3.2. Вариант № 2 (рис.3.2)

На рис.3.2 показано крепление рулевого ЖРД на стержнях, обеспечивающее передачу усилий без участия самой РК. Внешняя цапфа передает половину усилия тяги на фитинг (9), внутренняя цапфа - другую половину тяги на стержневую систему, состоящую из 4-х стержней (2,8). Эта система статически неопределима, однако для упрощения можно считать, что продольную часть тяги, а именно

$$R_z = \frac{R_p \cos \delta}{4},$$

где  $R_p$  - тяга рулевой камеры,

$\delta$  - максимальный угол отклонения рулевой камеры,

воспринимают стержни (2 и 8), а поперечное усилие

$$R_z = \frac{R_p \sin \delta}{4}$$

воспринимается только стержнями (8), прибавляясь к усилиям от действия продольной части тяги.

### 4. Крепление рулевых камер на кольце (рис.4.1)

Если имеется широкий шпангоут, на котором можно разместить РК, то проще всего такое крепление осуществить на двух кронштейнах (4) имеющих подлинники (8) и закрепленных на кольце (3). Тяга ЖРД вызывает изгиб и сжатие кронштейна. Условием прочности является соотношение

$$\sigma^p \leq \sigma_B,$$

где  $\sigma^p = \frac{|N_{\text{сж}}|}{F} + \frac{|M_{\text{сж}}|}{W}$  - расчетное максимальное напряжение в кронштейне,

$N_{\text{сж}} = \frac{R_p}{2} \cos \delta$  - продольная составляющая тяги,

$R_p$  - тяга рулевой камеры,

Крепление гудриков на стержнях (Вариант К I)

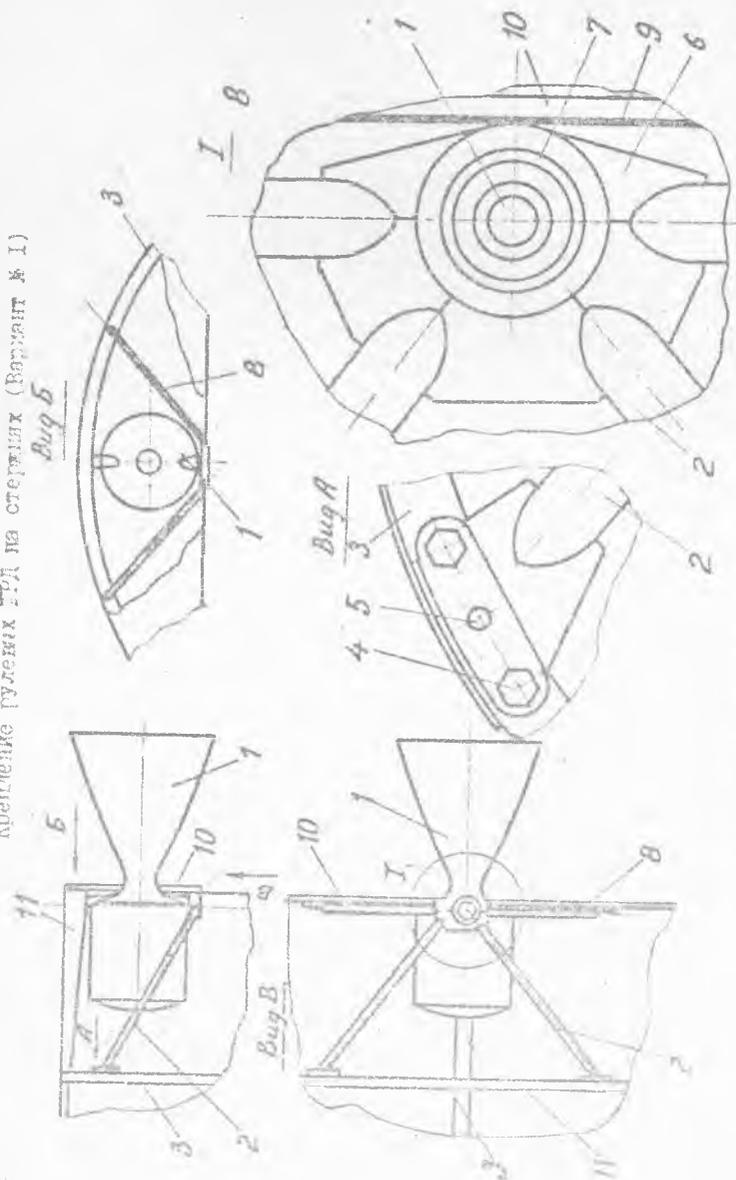


Рис. 3.2

1 - стержень, 2 - шпилька, 3 - кронштейн, 4 - гайка, 5 - шайба, 6 - шпилька, 7 - подшипник, 8 - стержень, 9 - стержень, 10 - нижняя планка, 11 - кронштейн

Крепление гудковых ЭРД на кольце

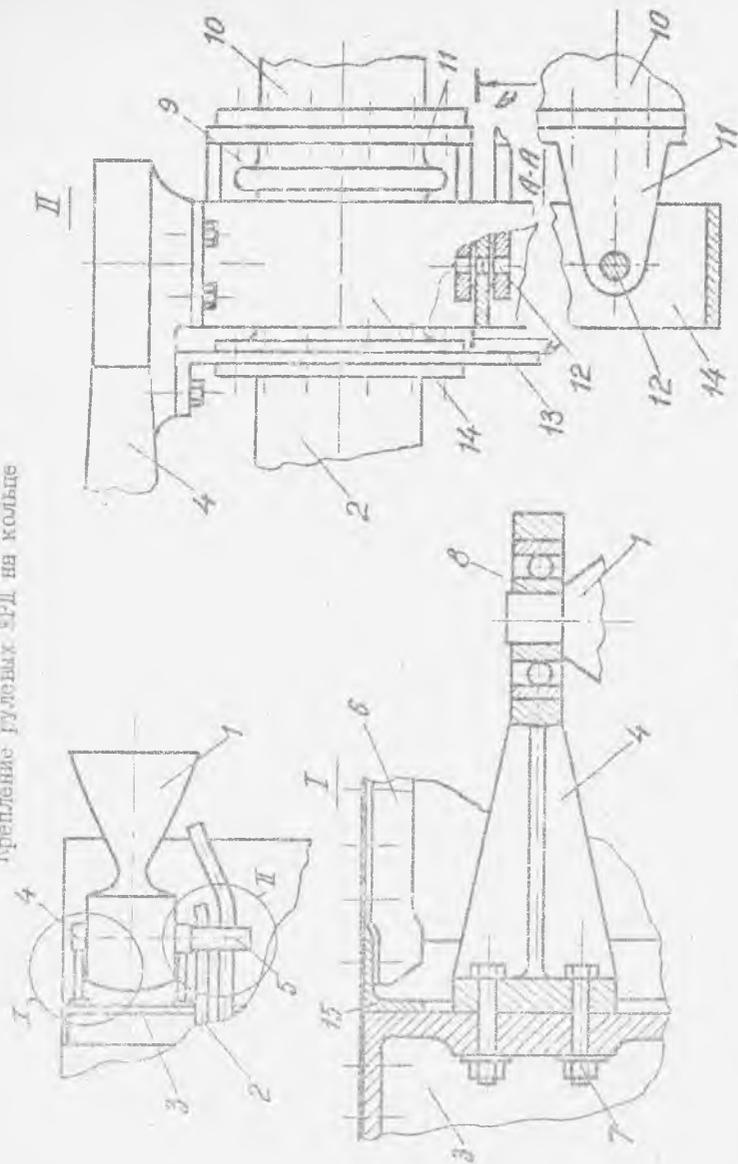


Рис. 4.Г

1 - ЭРД, 2 - трубопровод, 3 - кольцо, 4 - кронштейн, 5 - подвижное соединение, 6 - стержень, 7 - гайка, 8 - шайба, 9 - подшильник, 10 - сильфон, 11 - труборез, 12 - штифт, 13 - кронштейн, 14 - обойма, 15 - шланг

$\delta$  - максимальный угол отклонения рулевой камеры,

$M_x$  - изгибающий момент,  $M_x = N_y H$ .

$N_y = \frac{R_p \sin \delta}{2}$  - поперечная составляющая тяги,

$H$  - высота кронштейна,

$W$  - момент сопротивления сечения кронштейна в расчетном сечении,

$\sigma_s$  - временное сопротивление разрыву материала кронштейна.

## 5. Внешнее крепление рулевых КРД

### 5.1. Крепление в монолитном кронштейне (рис. 5.1)

Показанное на рис. 5.1 внешнее крепление рулевых КРД имеет лишь один основной элемент - монолитный силовой кронштейн, изготовленный литьем или с помощью сварки (3). Дополнительно имеются - кронштейн (4) и обтекатель (2). Торцевая часть закрыта донной защитой (17). Кронштейн (3) крепится к силовым элементам корпуса и воспринимает усилия от внешней цапфы КРД. Обтекатель съемный. Крепится к корпусу на винтах (6) с анкерными гайками.

На рисунке приведен пример подачи компонентов топлива через полые цапфы (10, 11). Герметизация обеспечивается постановкой герметизирующих колец (16).

В кронштейне (3) основными силовыми элементами являются ребра, которые участвуют в восприятии изгибающего момента от действия тяги и крутящего момента, от действия поперечной составляющей при отклонении РК от нейтрального положения.

### 5.2. Крепление на кронштейне-обтекателе (рис. 5.2)

На рис. 5.2 показан пример крепления РК когда она помещается в единственной силовой детали - литом кронштейне-обтекателе (2). Для возможности крепления цапф КРД извне на винтах (9) крепится крышка (8) с подшипником (10). Кронштейн крепится к силовым элементам корпуса (3, 5, 6). Торцы ракеты закрыты донной защитой (7). Система подачи компонентов топлива на рисунке не показана.

Изюмное крепление элементов БРД в монолитном кронштейне

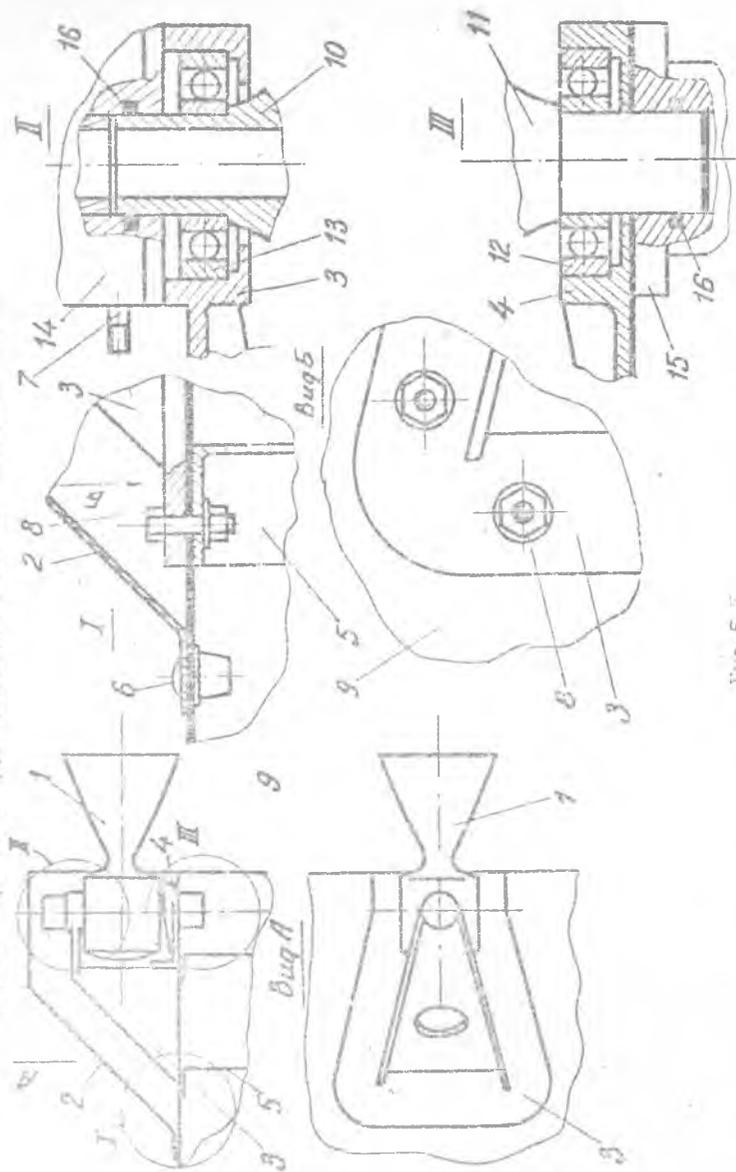


Рис. 5.1

1 - БРД, 2 - ободок, 3 - кронштейн, 4 - кронштейн, 5 - шпангоут, 6 - крепеж, 7 - шпилька, 8 - крепеж, 9 - ободок, 10 - шпилька, 11 - шпилька, 12 - подшипник, 13 - подшипник, 14 - ободок, 15 - ободок, 16 - кольцо герметизации.

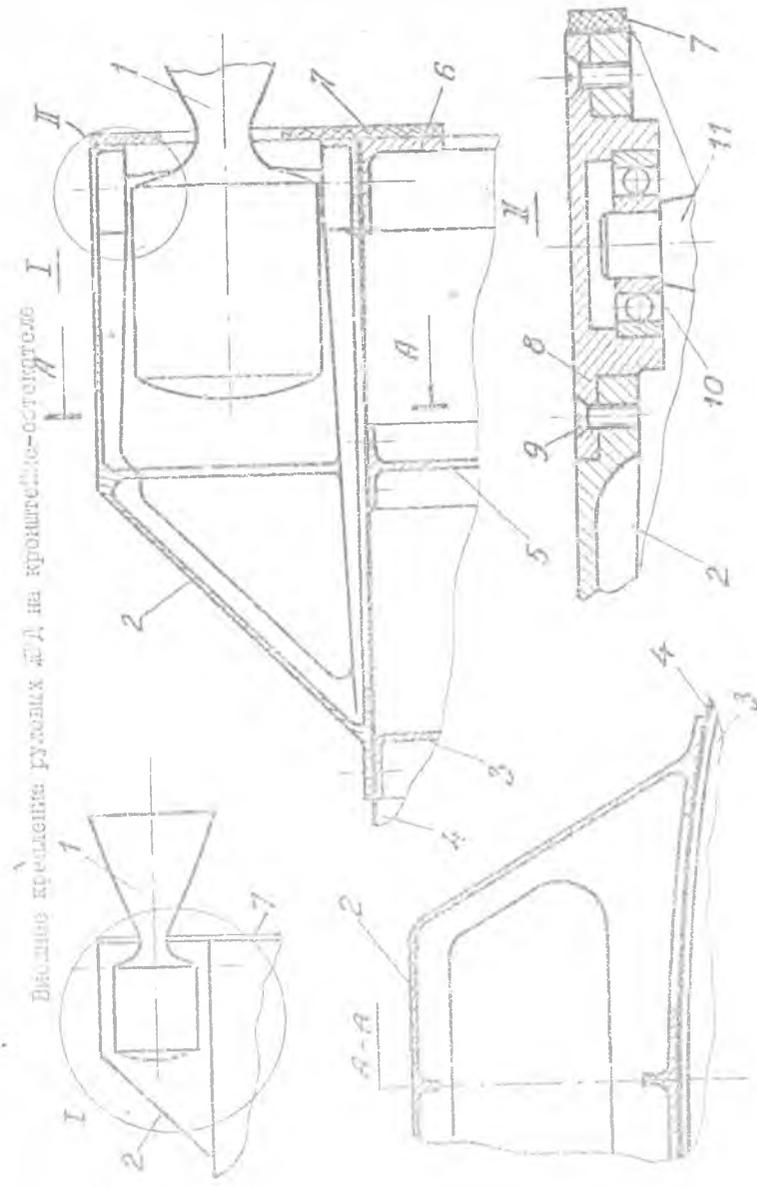


Рис. 5.2

I — жрд, 2 — кровельно-обогреватель, 3 — крышка, 4 — обшивка, 5 — шпангоут, 6 — торцевой шпангоут, 7 — донная защита, 8 — крышка, 9 — винт, 10 — подшпангоут, 11 — цапфа

### 5.3. Крепление на ферме (рис.5.3)

РК крепится внутренней цапфой через фитинг (8) к силовым элементам корпуса. Внешняя цапфа передает усилие тяги на корпус через ферму (3). Конструкция фермы позволяет поворачиваться РК на сравнительно большой угол. Ферма статически определима, поэтому усилия в стержнях определить не трудно. Сечение стержней принимают из условия, что при максимальной сжимающей силе стержень не должен терять устойчивость. Как правило, сечение всех стержней берут одинаковыми. На рис. 5.3 показана конструкция фермы с узловыми фитингами. Возможно соединение стержней проводить без фитингов, особенно, если ферму изготавливать из стали.

Ферма вместе с двигателем закрывается обтекателем (2), который крепится к корпусу на винтах с анкерными гайками. Торец ракеты закрывается донной защитой.

### 5.4. Крепление в клепанном каркасе (рис.5.4)

Усилие от внутренней цапфы РК воспринимается фитингом (10) и передается на силовые элементы корпуса. Усилие от внешней цапфы через фитинг (4) передается на профиль (7) и далее на силовой элемент корпуса (шпангоут, лонжерон, стрингер и т.п.). Профиль (9) имеет рамную конструкцию, как у профиля (3) и воспринимает боковые усилия от РК. Обшивка (2) участвует в передаче усилий от внешней цапфы и играет роль обтекателя. Торец ракеты закрыт донной защитой (8).

### 5.5. Консольное крепление (рис.5.5)

Возможно крепление РК не на цапфах, а на консоли двигателя. Так как размеры такой консоли (по соображениям прочности) значительны, то ее можно использовать для герметичной подачи топлива в двигатель с обеспечением поворота последнего. На рис.5.5 показан пример такой конструкции. Консоль (12) имеет две полости и крепится на корпусе ракеты в двух шарнирных соединениях (9 и 16). Топливо подается: один компонент сбоку, другой—с торца. На корпусе (3) имеются шпильки (10) для фланцевого крепления трубопроводов. Герметизация осуществляется установкой прокладок (8, II). Максимальный изгибающий момент воспринимается внешней оболочкой консоли (12) в месте установки подшипника (16). Внутренняя оболочка консоли (15) воспринимает максимальный

Внешнее крепление рулевых ЖРД на ферме

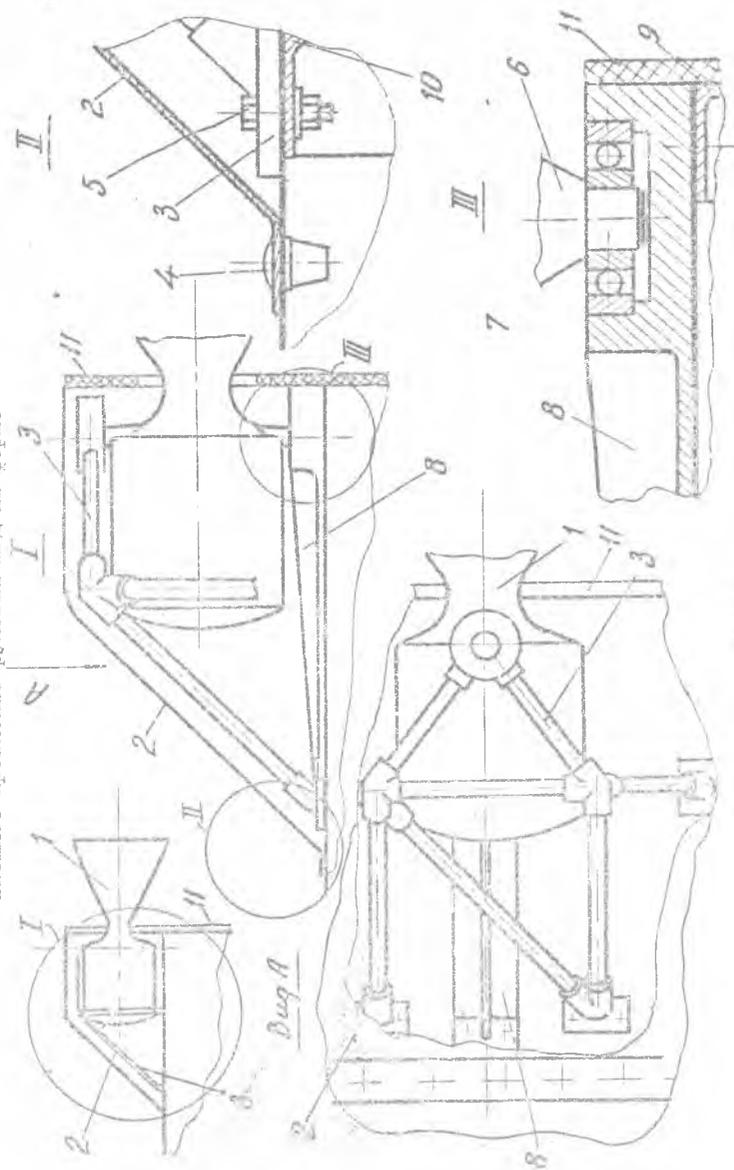


Рис. 5.3

1 - ЖРД, 2 - обтекатель, 3 - ферма, 4 - крепёж, 5 - гайка, 6 - шайба, 7 - подпятник, 8 - кронштейн, 9 - шпангоут, 10 - шпангоут, 11 - донная защита.

Внешнее крепление гудевых ЭРД в стальном каркасе

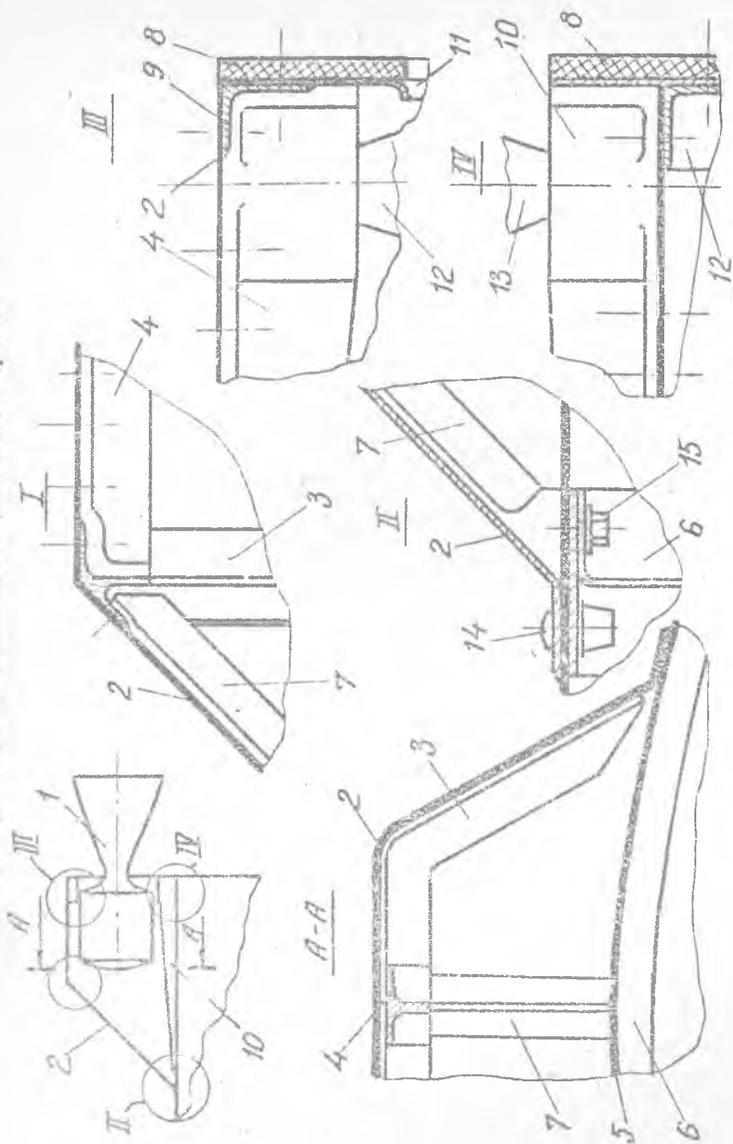


Рис. 5.4

I - ЭРД, 2 - обшивка, 3 - профиль, 4 - кронштейн, 5 - обшивка, 6 - шантуг,  
 7 - профиль, 8 - донная защита, 9 - профиль, 10 - кронштейн, II - стенка, I3 - цапфа,  
 I3 - цапфа, I4 - крепеж, I5 - крепеж

Внешнее крепление рулевых ЖРД на консоли

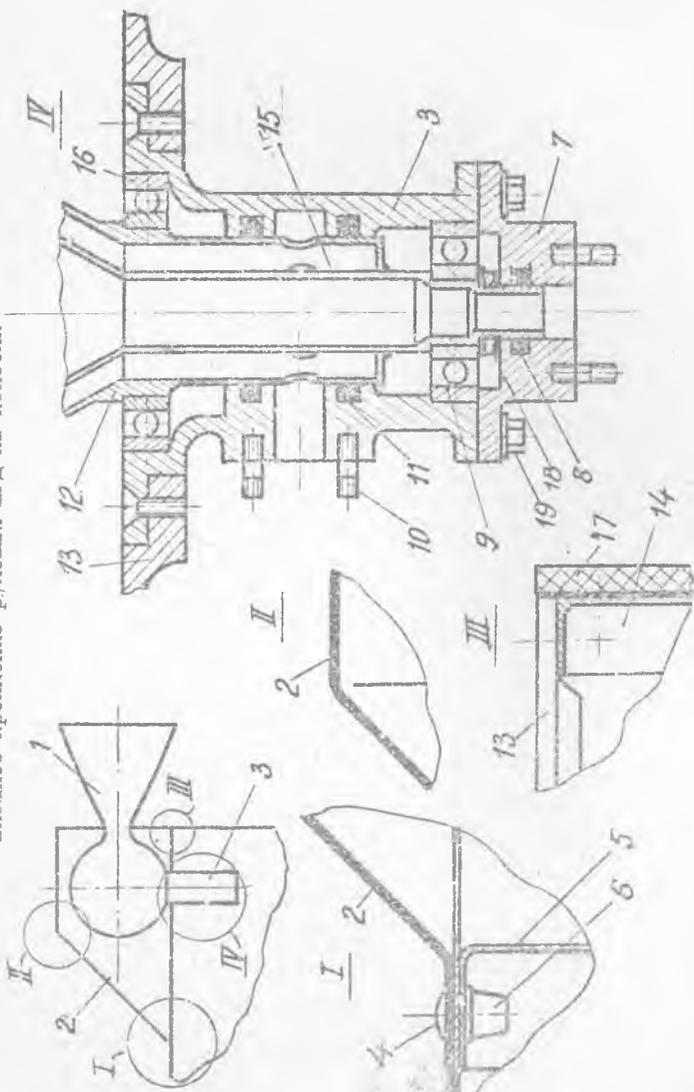


Рис.5.5

I - ЖРД, 2 - обтекатель, 3 - консоль, 4 - крепеж, 5 - шлангут, 6 - внутреняя гайка, 7 - крышка, 8 - уплотнение, 9 - подшипник, 10 - шпилька, 11 - уплотнение, 12 - внешняя обложка, 13 - корпус, 14 - шлангут, 15 - внутренняя труба, 16 - подшипник, 17 - донная защита, 18 - гайка, 19 - крепеж

изгибающий момент в месте заделки во внешней оболочке.

Рулевой ХРД закрыт обтекателем (2) и донной защитой (17).

#### 6. Крепление турбинных рулевых сопел (рис.6.1)

На рис.6.1 дана конструктивная схема установки рулевых сопел (4) на донной защите корпуса ракеты (1). К четырем, диаметрально расположенным соплам подается газ из газовой турбины турбонасосного агрегата. Из коллектора (3) газ по трубопроводам (2) попадает в сопла, которые отклоняются от нейтрального положения рулевыми машинками (12), тем самым создавая необходимые для управления моменты сил.

Тягу каждого сопла можно вычислить по формуле

$$R_c = w \dot{m}_c,$$

где  $w = (200 \dots 400)$  м/с – скорость истечения газа из сопла,  
 $\dot{m}_c$  – секундный расход газов через сопло, кг/с,

$$\dot{m}_c \approx 0,005 \frac{n_x g m_0}{w_c}$$

где  $n_x$  – начальная тяговооруженность ступени,

$g$  – ускорение силы тяжести,

$m_0$  – начальная масса ступени,

$w_c$  – эффективная скорость истечения для жершевых двигателей.

Следует отметить, что эта система способствует увеличению тяги двигателей, тем самым повышая эффективную скорость истечения.

#### 7. Крепление баллонных рулевых сопел (рис.7.1)

Для управления верхними ступенями РН не требуется больших и постоянно действующих сил. Поэтому можно установить сопла (3), подающие газ по трубопроводу (6) из баллона и работающие в релейном режиме, когда управляющие клапаны включаются и подают газ к соплам в необходимый момент времени.

Крепление турбинных рулевых сопел

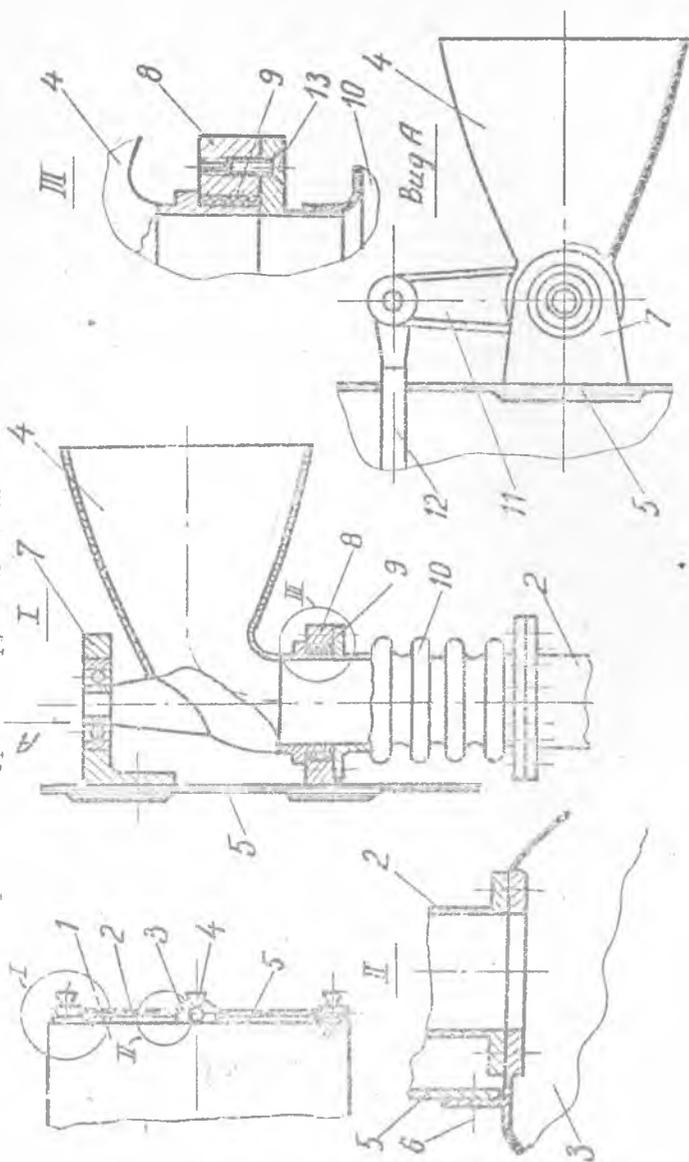


Рис. 6.1

1 - корпус ракеты, 2 - трубопровод, 3 - коллектор, 4 - сошло, 5 - донная защита, 6 - крепеж, 7 - крыштейн, 8 - прокладкой, 9 - подпятник сколажения, 10 - скелетон, 11 - рычаг, 12 - рулевая машинка, 13 - крепеж

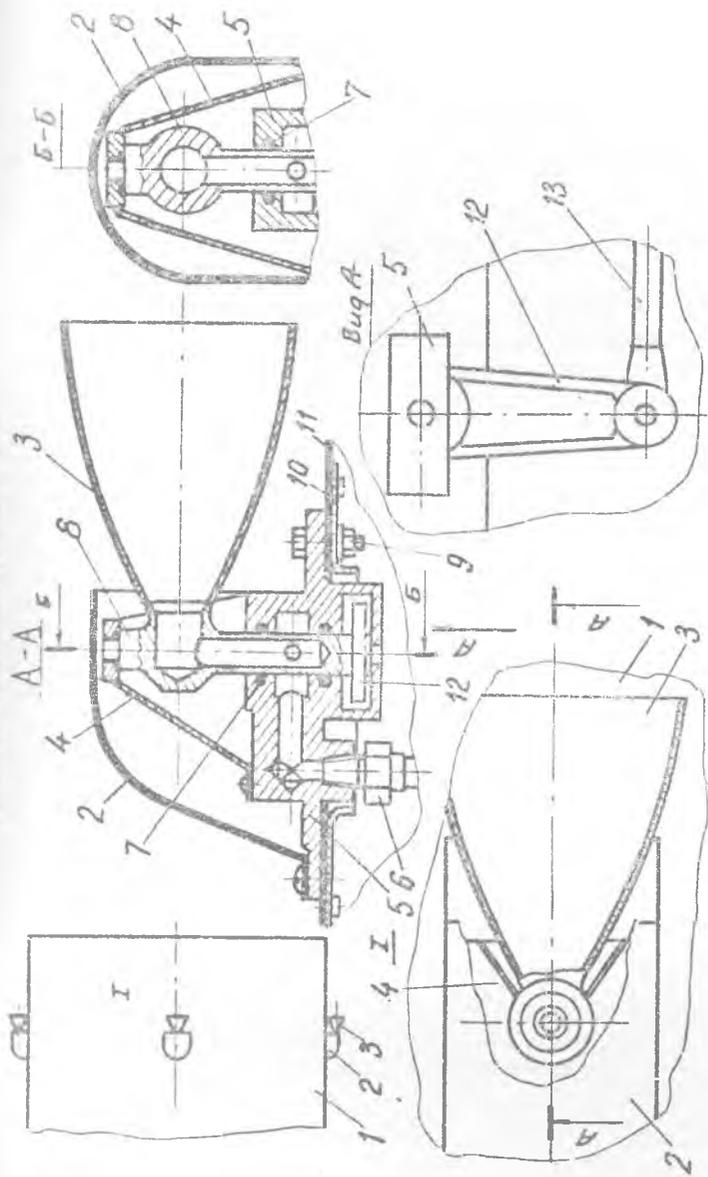


Рис. 7.1

I - корпус ракеты, 2 - обтекатель, 3 - сошло, 4 - опора, 5 - корпус, 6 - трубопровод, 7 - уплотнение, 8 - ось, 9 - крепеж, 10 - окантовка, II - обшивка, 12 - рычаг, 13 - рулевая машинка

## СОДЕРЖАНИЕ

|  | стр. |
|--|------|
| Предисловие .....                          | 3    |
| 1. Балочное крепление рулевых ЭРД .....    | 4    |
| 2. Крепление рулевых ЭРД на профилях ..... | 6    |
| 3. Крепление рулевых ЭРД на стержнях ..... | 6    |
| 3.1. Вариант № 1 .....                     | 6    |
| 3.2. Вариант № 2 .....                     | 9    |
| 4. Крепление рулевых камер на кольца ..... | 9    |
| 5. Внешнее крепление рулевых ЭРД .....     | 12   |
| 5.1. Крепление в монолитном кронштейне     | 12   |
| 5.2. Крепление в кронштейне-обтекателе     | 12   |
| 5.3. Крепление на ферме .....              | 15   |
| 5.4. Крепление в клепанном каркасе ...     | 15   |
| 5.5. Консольное крепление .....            | 15   |
| 6. Крепление турбинных рулевых сопел ..... | 19   |
| 7. Крепление баллонных рулевых сопел ..... | 19   |

