

Государственный Комитет РСФСР  
по делам науки и высшей школы

Самарский орден Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Королева

Б А К И  
Р А К Е Т

(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. Дьялов Л. П.

УДК 629.7

Базы ракет (Иллюстративный материал по курсу "Конструкция и проектирование ЛА"): Методические указания / Авт. сост. Дьялов Л. П.; Самарский авиацион.-т., Самара, 1991. - 30 с.

Приводится иллюстративный материал по конструкции баков ракет. К каждой иллюстрации дается краткое описание конструкции.

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 при дипломном проектировании.

Подписано в печать 20.09.91. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага оберточная белая. Печать офсетная. Усл. п. л. 1,8  
Уч.-изд. л. 1,9 Т. 50. Заказ № 11508.  
Бесплатно.

---

Уч.-к оперативной полиграфии Самарского авиационного института. 443001, г. Самара, ул. Ульяновская, 18

## Предисловие

Баки ракет, служащие для размещения компонентов жидкого топлива и других жидкостей (перекиси водорода, жидкого азота, изоциановитрата и т.п.) можно разделить на две группы:

- несущие баки, т.е. баки, обечайки которых являются частью корпуса ракеты и включаются в работу при передаче усилий вдоль корпуса;
- ненесущие баки, которые являются лишь емкостями для хранения жидкости.

Конструктивно все баки представляют собой оболочку со шпангоутами, причем последние служат для усиления мест сопряжения обечаек и днищ и для передачи усилий от отсека к отсеку.

Основным материалом для изготовления баков является дюралюминиевый сплав АМГ6, достаточно прочный и хорошо свариваемый в защитной среде аргона. Для баков жидкого водорода желательно применять сплав 1201. Есть примеры изготовления баков из сталей ЗСХГСА, ЗМ654, Х18Н10Т с нагартовкой или без нее.

Оболочки баков нагружаются внутренним избыточным давлением

$$P_n^2 = P_n^2 + n_z^2 H_n \rho g.$$

- где  $P_n^2$  - давление наддува бака,  
 $n_z^2$  - продольная перегрузка,  
 $H_n$  - высота столба жидкости,  
 $\rho$  - плотность жидкости,  
 $g$  - ускорения силы тяжести.

Под действием этого давления в оболочке бака появляются нормальные напряжения растяжения (рис.0.1):

- в цилиндрических и конических (при малой конусности) обечайках бака

$$\sigma_{1n}^2 = \frac{P_n^2 D}{2\delta} \quad \text{- в продольном сечении,}$$

$$\sigma_{2n}^2 = \frac{P_n^2 D}{4\delta} \quad \text{- в поперечном сечении,}$$

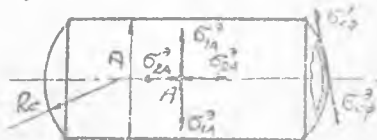


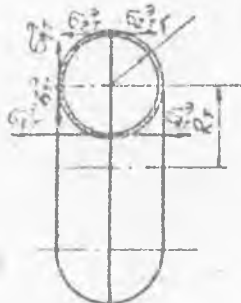
Рис.0.1

- в сферических обечайках и в сферических днищах

$$\sigma_{сф}^2 = \frac{P_n^2 R_c}{2\delta},$$

где  $D$  - диаметр сечения бака,  
 $R_c$  - радиус сферы,  
 $\delta$  - толщина обечайки;

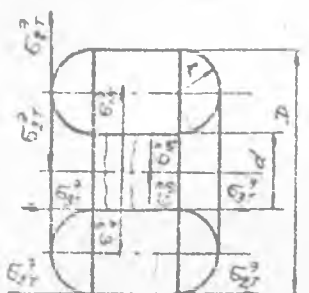
- в торовых баках (рис.0.2) напряжения вычисляются по формулам:



$R_T$  - радиус тора,  
 $r$  - радиус образующей тора

Рис.0.2

- в кольцевых баках (рис.0.3) напряжения



$D$  - внешний диаметр бака,  
 $d$  - внутренний диаметр бака.

Рис.0.3

$$\sigma_{1T}^2 = \frac{P^2}{2\delta} \frac{r(2R_T - r)}{(R_T - r)}$$

$$\sigma_{2T}^2 = \frac{P^2 r}{\delta}$$

$$\sigma_{3T}^2 = \frac{P^2}{2\delta} \frac{r(2R_T + r)}{(R_T + r)}$$

где  $P^2 = P_H^2$  - изотическое давление в баке,

$R_T$  - радиус тора,

$r$  - радиус образующей тора.

$\sigma_{1T}^2, \sigma_{2T}^2, \sigma_{3T}^2$  - вычисляются так же, как напряжения в торовом баке,

$\sigma_{1H} = \frac{P_H^2 D}{2\delta}$  - нормальные напряжения в продольном сечении наружной обечайки,

$\sigma_{1B} = - \frac{P_H^2 d}{2\delta}$  - нормальные напряжения в продольном сечении внутренней обечайки.

Внешние обечайки несущих кольцевых и обечайки цилиндрических баков участвуют в передаче сил. Внешние конуса ракеты и воспринимают также нагрузки, как  $Q^2, M_{13H}^2, N^2$ .

При этом:

- максимальные касательные напряжения

$$\tau_{max} = \frac{Q^2 S}{J \delta}$$

где  $S = \frac{D^2 \delta}{2}$  - статический момент отсеченной площади сечения,

$J = \frac{\pi D^4 \delta}{8}$  - момент инерции площади сечения;

- максимальные нормальные напряжения

$$\sigma_{max} = \sigma_2 + \frac{|M_{изг}|}{W} = \frac{|N^2|}{F}$$

где  $W = \frac{\pi D^3 \delta}{4}$  - момент сопротивления сечения бака,

$F = \pi D \delta$  - площадь сечения бака,

$$\sigma_2 = \begin{cases} \sigma_{2r} & \text{для торового и кольцевого баков,} \\ \sigma_{2a} & \text{для цилиндрического бака.} \end{cases}$$

- продольные нормальные напряжения в зоне максимальных касательных напряжений

$$\sigma_m = \sigma_2 - \frac{|N^2|}{F}$$

Условиями прочности внешних оболочек торовых и кольцевых и оболочек цилиндрических баков являются соотношения

$$f \sigma_{max} \leq K_c \sigma^*$$

$$\left( \frac{\tau_{max}}{\tau_{кр}} \right)^2 + \left| \frac{\sigma_m}{\sigma^*} \right| \leq 1$$

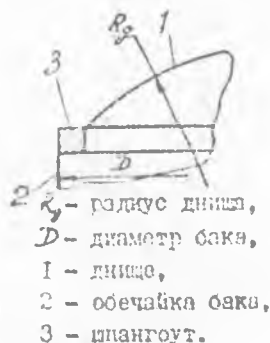
где  $\tau_{кр}$  - критические напряжения на сдвиг гладкой цилиндрической оболочки,

$f$  - коэффициент безопасности,

$K_c$  - коэффициент ослабления материала в зоне сварки,

$\sigma^* = \begin{cases} \sigma_B & \text{если в рассматриваемом сечении - растяжение,} \\ \sigma_{кр} & \text{критические напряжения сжатия для гладкой цилиндрической оболочки, если в рассматриваемом сечении - сжатие.} \end{cases}$

В местах соединения цилиндрической (или конической) обечайки и днища устанавливаются усиленные шпангоуты (рис.0.4), которые под действием внутреннего изотонного давления подвергаются сжатию.



- 1 - днище,
- 2 - обечайка бака,
- 3 - шпангоут.

Рис.0.4

Условием прочности шпангоута является соотношение

$$f \cdot \sigma_{ш}^p \leq \sigma_{в.к.с.},$$

где  $\sigma_{ш}^p$  - нормальные напряжения в шпангоуте,

$$\sigma_{ш}^p = \frac{p \cdot D}{8F_{ш}} \sqrt{4R_g^2 - D^2},$$

$F_{ш}$  - площадь сечения шпангоута.

По мере необходимости в описаниях конструкции приводятся дополнительно зависимости для назначения сечений элементов конструкции.

Методические указания содержат 16 основных рисунков и являются первой частью иллюстративного материала по конструкции ракет.

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

Третья часть - "Носовые обтекатели".

Четвертая часть - "Головные обтекатели".

Пятая часть - "Сухие отсеки".

Шестая часть - "Делки, крышки, створки".

Седьмая часть - "Стыки и соединения".

Восьмая часть - "Крепление приборов".

## I. Формы баков (рис. I.I)

Выбор формы бака диктуется, в основном, необходимостью создания ракеты с наиболее плотной компоновкой. Кроме того, приходится учитывать достоинства и недостатки каждой формы. В таблице I.I дан анализ каждой из приведенных на рис. I.I форм.

Таблица I.I

Форма бака	Основные достоинства	Недостатки
1	2	3
А. Цилиндрический бак с полусферическими днищами.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Небольшая масса оболочки.</li> <li>2. Небольшая масса шпангоутов.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Слишком велика масса обок бака и других, соединяющихся с баком отсеков.</li> <li>2. Слишком много пустых мест в корпусе.</li> </ol>
Б. Цилиндрический бак с днищами - сферическими сегментами.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Наиболее часто встречающаяся форма.</li> </ol>	
В. Конусный бак с днищами - сферическими сегментами.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Плотно заполняет конусную часть корпуса.</li> </ol>	
Г. Цилиндрический бак с вогнутым днищем для образования совмещенного днища.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможно осуществить достаточно плотную компоновку.</li> <li>2. Не требуются межбаквые отсеки или юбки баков.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сложна конструкция совмещенного днища.</li> <li>2. Затруднен забор топлива из бака.</li> <li>3. Затруднено крепление тоннельных труб.</li> <li>4. Затруднена установка теплоизоляции.</li> </ol>
Д. Бак сложной формы - сочетание цилиндра и конуса.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Плотное заполнение корпуса</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В месте сочетания конуса и цилиндра требуется установка дополнительного шпангоута.</li> </ol>

ФОРМЫ БАКОВ

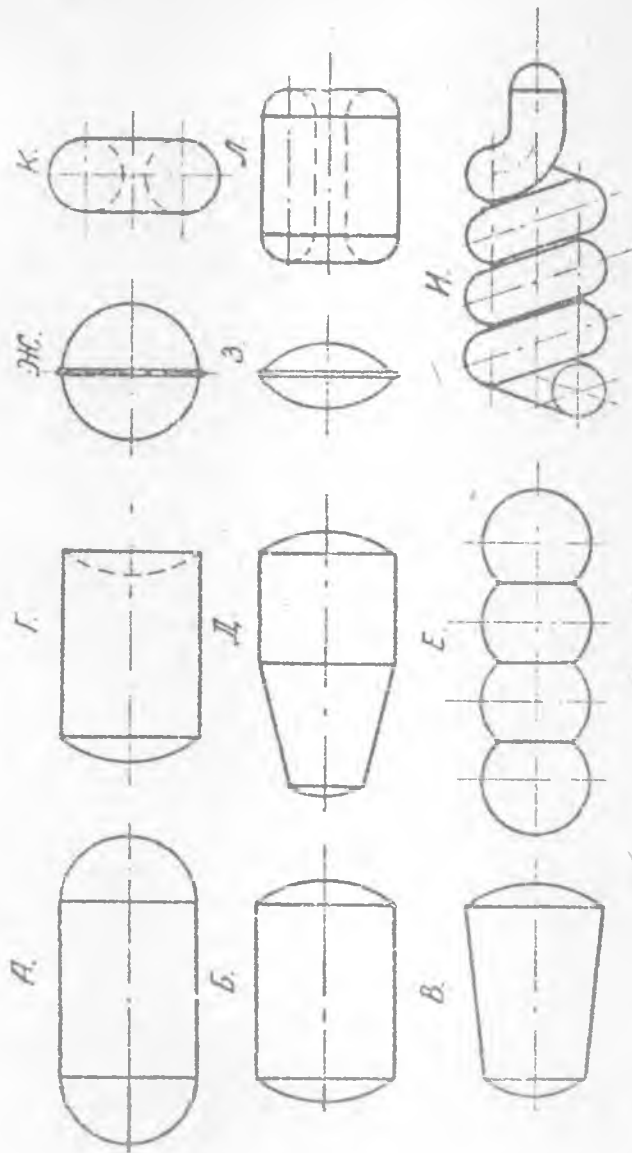


Рис. I. I

А. — цилиндрический с полушарами, Б. — цилиндрический, В. — конусный, Г. — цилиндрический, Д. — сферный формы, Е. — ячеистый бак, Ж. — сферический, З. — чечевичеобразный, И. — спираль, К. — торонный бак, Л. — кольцевой бак



1	2	3
Б. Личейный бак	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Можно плотно заполнить объема любой формы.</li> <li>2. Наибольшая масса бака при том же объеме.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сложен в изготовлении.</li> <li>2. Чувствительность к неточности изготовления отдельных элементов.</li> <li>3. Затруднено крепление бака.</li> </ol>
Б. Сферический бак.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Наименьшая масса бака.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Затруднено крепление бака.</li> <li>2. Слишком велика масса юбок и других, соединяющихся с баком элементов.</li> <li>3. Слишком много пустых мест в корпусе.</li> </ol>
З. Чечевичкообразный бак.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность более плотного заполнения корпуса.</li> <li>2. Хорошо сочетается с цилиндрическим баком через совмещенное днище.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Слишком велика масса бака.</li> <li>2. Затруднено крепление бака.</li> </ol>
И. Спиральный бак.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Бак не взрывается даже при появлении в нем больших повреждений.</li> <li>2. В сочетании с другими формами можно обеспечить плотную компоновку ракеты.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сложность изготовления.</li> <li>2. Слишком большая масса бака.</li> <li>3. Слишком велика деформация бака при его надуве.</li> </ol>
К. Торсый бак.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Можно достичь более плотной компоновки.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Затруднено крепление бака.</li> </ol>
Л. Кольцевой бак.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность более плотного заполнения корпуса.</li> <li>2. Бак может быть несущим.</li> <li>3. Возможно крепление ИРД непосредственно к баку.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сложность изготовления.</li> <li>2. Велика масса внутренней оболочки, воспринимаящей внешнее давление.</li> <li>3. Необходимо создавать специальное устройство для передачи усилия отги на корпус.</li> </ol>

## 2. Раскрой дна (рис.2.1)

Литца баков целесообразно штамповать из одного листа. При отсутствии листов с необходимыми габаритами их приходится делать составными:

- а) вначале листы сваривать встык, а затем из них штамповать днище ( $A_2$ );
- б) штамповать части днища (1 и 2), фрезеровать сварные крошки и сваривать части воедино ( $A_3$ ). Такое соединение обеспечивает большую, чем в способе а), прочность;
- в) днище собирать и сваривать из предварительно отштампованных ленточек (4) и полусной части (3). Такая сборка приемлема при изготовлении баков с большими габаритами.

Для днищ, изготавливаемых из АМЦ, необходимо применять химическое фрезерование и снимать лишний материал по всей поверхности, за исключением зоны сварки. Такая операция делает оболочку равнопрочной с материалом в зоне сварки, где толщина листа не уменьшалась, но из-за сварки происходит некоторая потеря прочности. При этом, чем толще свариваемые листы, тем эта потеря больше.

С точки зрения обеспечения чистоты внутреннего объема бака наиболее эффективно химическое фрезерование делать снаружи ( $A-B_2$ ), а для прочности и для устранения изгибных напряжений в зоне сварки желательно иметь двухстороннее фрезерование ( $B-B_2$ ), что, однако, более трудоемко и есть опасность появления чрезмерного уменьшения толщины.

## 3. Обечайки баков (рис.3.1)

Цилиндрические и конические обечайки баков свариваются из заранее согнутых листов или, если обеспечивается прочность, даже из листа. Если габариты листов не позволяют сделать целиком всю обечайку, то последнюю сваривают из предварительно собранных из частей колец. Обечайки баков могут быть не только гладкими, но и с продольными (внутренними или наружными) подкрепляющими ребрами. Эти ребра необходимы в том случае, если в обечайке может появиться усилие сжатия, что может привести к потере устойчивости гладкой оболочки. Обечайка может иметь вафельное подкрепление. Такая обечайка может воспринимать не только внутреннее, но и внешнее избыточное давление.

Раскрой дна

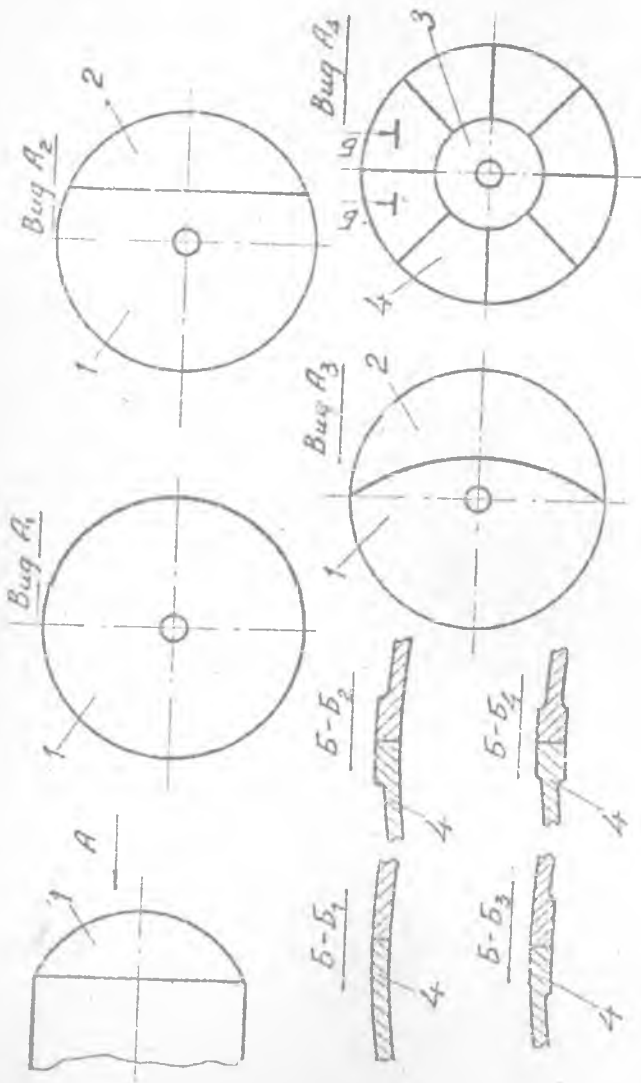


Рис. 2.1

1 - дна, 2 - отверстие дна, 3 - ребристая часть, 4 - легасток

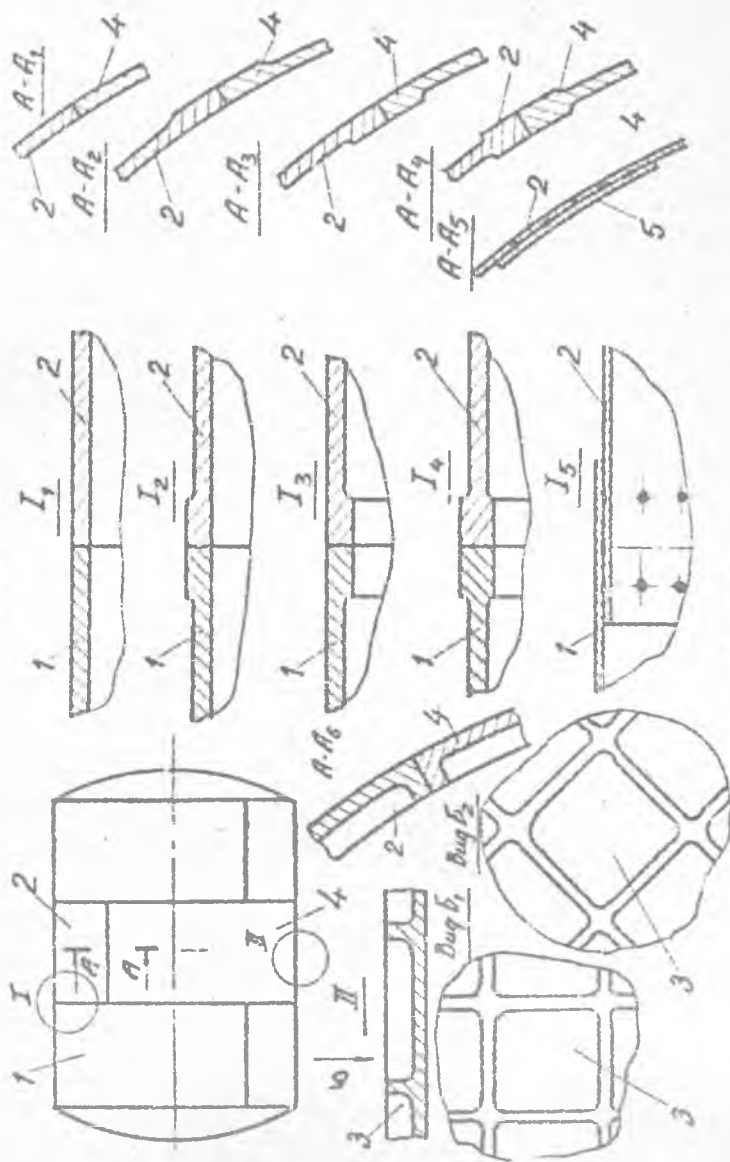


Рис. 3.1  
 I - кольцо, 2 - вощеная обечайка, 3 - часть кольца, 4 - часть кольца, 5 - накладка

Элементы колец (2 и 4) свариваются встык. При этом усиление шва производят либо за счет фрезерования остальной части поверхности (для материала АМГ6), либо путем постановки на точечной сварке накладок (5).

Кольца свариваются в единую обечайку встык или внахлестку (Г). При сварке внахлестку для герметичности применяется роликовая сварка, для усиления соединения - точечная сварка.

Химическое фрезерование, как и для днищ, может быть как односторонним и двухсторонним.

#### 4. Совмещенные днища баков без теплоизоляции (рис.4.1)

Совмещенные днища баков, несмотря на некоторую сложность конструкции и на затруднения при сборке и при эксплуатации, позволяют создавать более плотную компоновку. На рис.4.1 даны несколько вариантов конструкций совмещенных днищ:

- ( $I_1$ ) - совмещенное днище состоит из двух частей. Часть (3) приваривается к обечайке встык за приваркой части (4). В районе полуса эти две части касаются друг-друга, обеспечивая тем самым совместную работу при перепаде давления в баке (1) и в баке (2);

- ( $I_2$ ) - двойное днище заменено одинарным (4) с силовым шпангоутом (5);

- ( $I_3$ ) - верхний бак (1) делается обычной конструкции, а нижний (2) - без верхнего днища. Нижний бак прикрепляется к верхнему через шпангоут (II). Герметичность обеспечивается постановкой прокладки (10);

- ( $I_4$ ) - верхний и нижний баки изготавливаются отдельно. Каждый из них имеет свою часть совмещенного днища (4 и 8). Затем они соединяются между собой путем сварки шпангоутов (5) и (7).

- ( $I_5$ ) - верхний и нижний баки изготавливаются отдельно, как у конструкции ( $I_4$ ), но соединяются шпангоуты между собой "внахлест" с фиксацией пружинным кольцом (9), входящим в углубления шпангоутов (5) и (7).

В вариантах ( $I_4$ ) и ( $I_5$ ) между частями совмещенного днища устанавливаются упоры, с тем, чтобы обе части днища работали совместно.

При конструировании совмещенных днищ необходимо иметь в виду, что в эксплуатации перепад давления должен быть со стороны водосточности днища. С точки зрения прочности толщину каждой части днища можно принять равной половине однослойного днища.

Современные типы без теплоизоляции

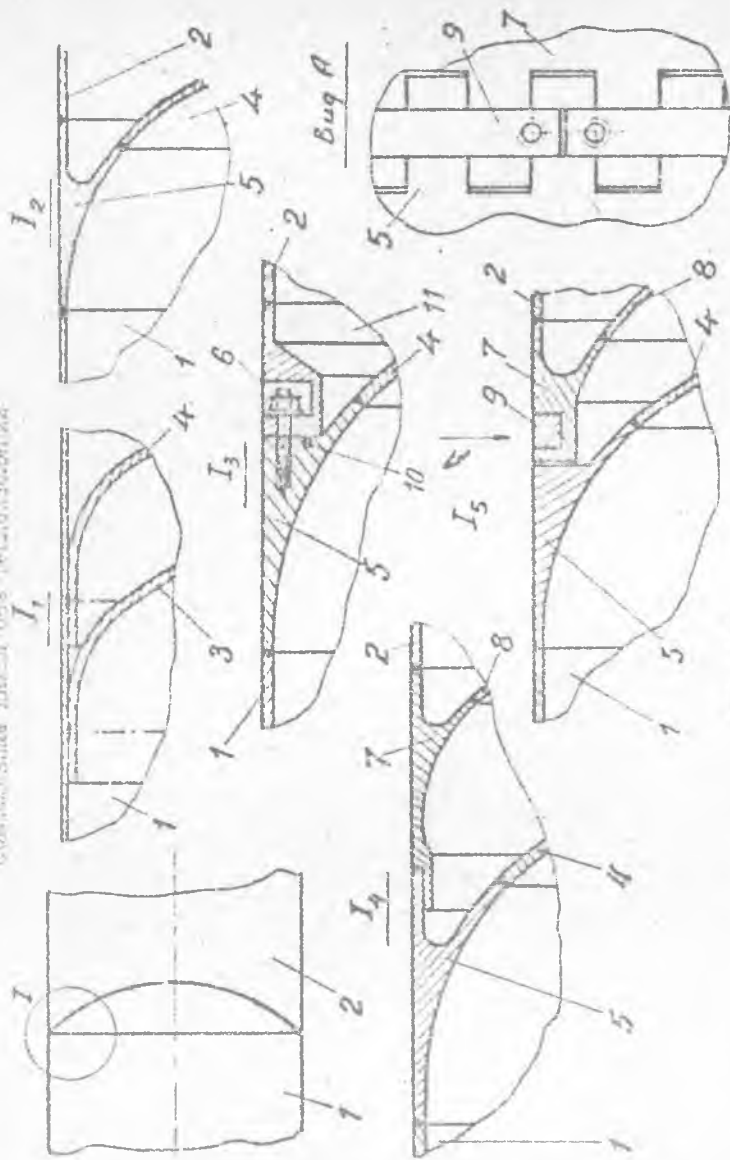


Рис. 4.1

1 - верхний бак, 2 - нижний бак, 3 - часть современного дна, 4 - часть дна, 5 - шпангоут, 6 - крепёж, 7 - шпангоут, 8 - дна, 9 - пружинное кольцо, 10 - прокладка, 11 - шпангоут

## 5. Совмещенные днища с теплоизоляцией (рис.5.1)

Если днища разделяют компоненты топлива с сильно отличающимися температурами (жидкий кислород и керосин, жидкий водород и жидкий кислород), то совмещенные днища должны не только разделить компоненты, но и, по-возможности, теплоизолировать один бак от другого.

На рис.5.1 представлены варианты таких совмещенных днищ:

- ( $I_1$ ) - днище сварной конструкции. Между верхним и нижним частями днища находится жесткий теплоизолятор (пенопласт, стеклоты и т.п.), который крепится лишь к одной части днища. В этой конструкции тепло "перетекает" через шпангоут (2), не защищенный теплоизоляцией;
- ( $I_2$ ) - верхний и нижний баки изготавливаются отдельно. К одному из днищ приклеивается теплоизоляция. Соединяются оба бака через теплоизолирующее кольцо (7) с помощью шпилек, имеющих малую теплопроводность, например, изготовленных из высоколегированных нержавеющей сталей. Усилие сжатия передается от шпангоута (10) к шпангоуту (2) через кольцо (7), изготовленное из теплоизоляционного материала, имеющего достаточно высокую прочность;
- ( $I_4$ ) - так же, как и в конструкции ( $I_2$ ) баки изготавливаются отдельно, но шпангоуты (10) и (2) соединяются между собой с помощью теплоизолирующей накладки (II), закрепленной на баках винтами (12). Эти винты не воспринимают нагрузок. Усилия сжатия передаются через торцы цилиндрических накладок (II).

## 6. Стыковые шпангоуты баков (рис.6.1)

Баки соединяются с другими отсеками и баками с помощью юбок (6) или с помощью стыковых шпангоутов (3), которые одновременно служат усилением соединения обечайки и днища. Конструктивные варианты соединения между собой обечаек (2), днищ (1) и шпангоутов показаны на рис.6.1:

- ( $I_1$ ) - наиболее простой в сварке, но требуется изготовление шпангоута - кольца;
- ( $I_2$ ) - шпангоут облегченной конструкции с внутренним кольцевым каналом. Конструкция малой массы, но требует изготовления "макаронины" - профиля с внутренним каналом с последующей гибкой и сваркой профиля в кольцо;





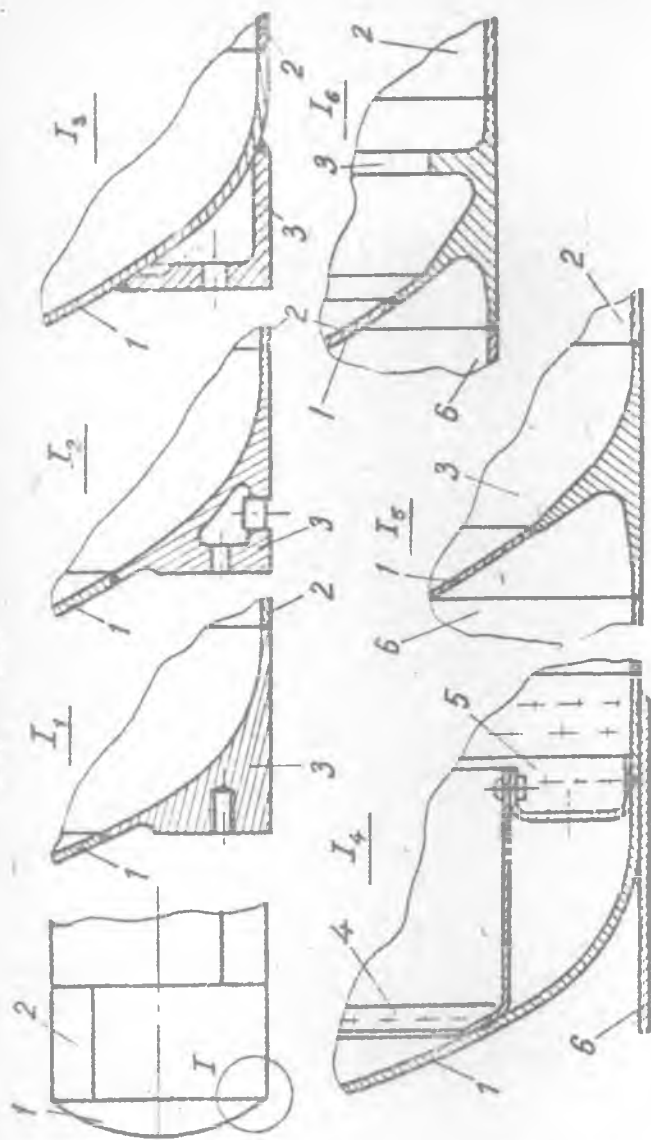


Рис. 6.1

I - дна, 2 - обечайка, 3 - стыковой швы, 4 - кольцо, 5 - швы, 6 - фланг

- ( $I_4$ ) - кольцо-шпангоут (3) приварен к днищу;
- ( $I_5$ ) - усиление соединения днища и обечайки набрано из деталей, отштампованных из листового материала. Такая конструкция не требует применения карусельных стоек, но слишком многодезна, особенно, если детали (4) и (5) необходимо изготавливать из частей с последующей сваркой в единое кольцо;
- ( $I_6$ ), ( $I_7$ ) - шпангоуты служат для усиления стыка обечайки и днища.

Специальность конструкции вариантов ( $I_5$ ), ( $I_6$ ) и ( $I_7$ ) является то, что шпангоуты (3) необходимо точить из сплошного кольца, а не изготавливать из профиля с последующей сваркой, т.к. при сварке с последующей механической обработкой может появиться негерметичность из-за пористости в шве. При этом негерметичность может быть обнаружена только при проверке на герметичность бака целиком. В варианте ( $I_6$ ) допустимо изготовление шпангоута из профиля с последующей сваркой в кольцо, но с проверкой герметичности сварки на стадии изготовления шпангоута.

### 7. Рядовые шпангоуты баков (рис. 7.1)

Рядовые шпангоуты баков могут быть использованы для:

- поддержания формы при сварке обечайки бака,
- поддержания формы бака при его транспортировке,
- поддержания формы бака при появлении небольших внешних нагрузок (перепад между давлением в баке и атмосферным давлением, реакция опор, давление ветра и т.п.),
- увеличения собственной частоты колебаний в обечайке при отсутствии давления внутри бака,
- восприятия нагрузок при нарушении прямолинейности образующей бака.

На рис. 7.1 показаны примеры конструкции рядовых шпангоутов. Они могут быть:

- отштампованы из листового материала и приварены к обечайке ( $I_1$ ),
- собраны с использованием заклепок ( $I_2$  и  $II_1$ ),
- изготовлены из профиля и приварены к обечайке или вставлены в обечайку ( $II_2$  и  $II_3$ ).

Если сваренный полностью бак транспортировать, заправлять и опорожнять при наличии внутреннего давления в баке, тогда рядовых

Рядомо шпангоутн бэков

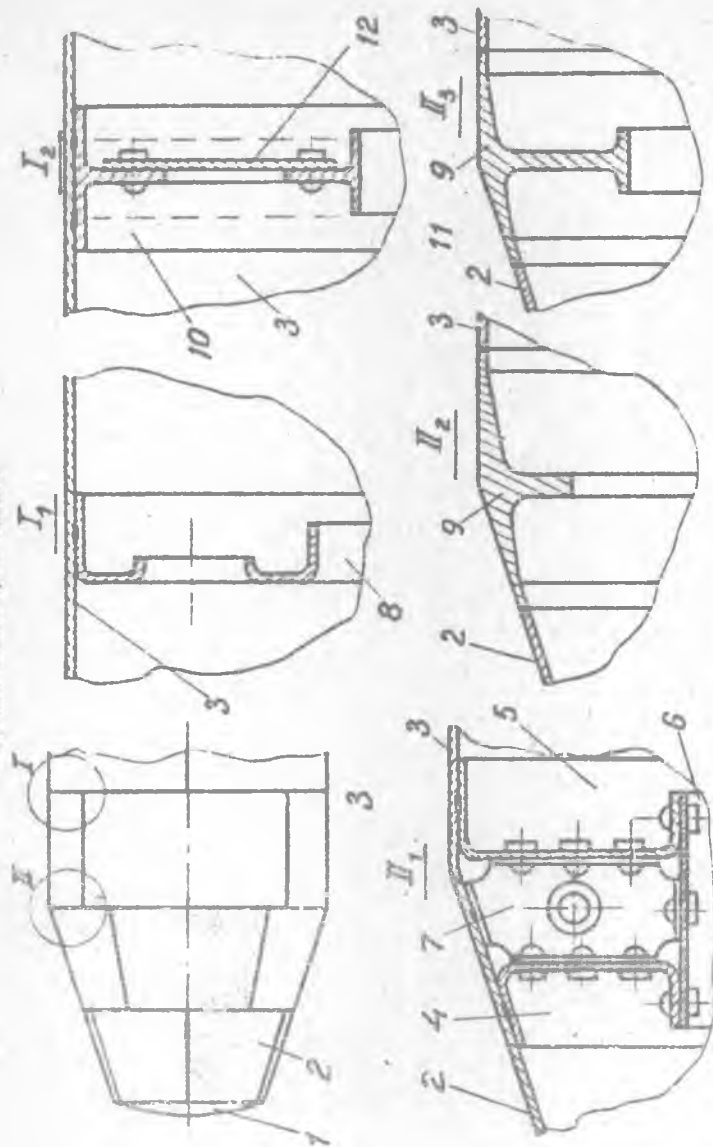


Рис. 7.1

1 - динэр, 2 - обечайка, 3 - кольцо обечайки, 4 - шпангоут, 5 - шпангоут, 6 - накладка, 7 - вкладка, 8 - шпангоут, 9 - шпангоут

шпангоутов на участках бака с прямолинейными образующими (цилиндр, конус) может и не быть, что резко уменьшает массу бака, но усложняет технологию изготовления бака и эксплуатацию ракеты. Такой бак имеется на ракете "Атлас" (США).

Шпангоуты, расположенные в местах пересечения прямолинейных образующих обечайки бака воспринимают сжимающие или растягивающие усилия.

Условия прочности таких шпангоутов определяются выполнением неравенств

$$f\sigma^2 \leq \sigma_B, \quad |P^2| \leq \sigma_{кр.места},$$

где  $f$  - коэффициент безопасности,

$$\sigma^2 = \frac{P^2 D^2 \sin^2 \alpha}{8 F_w} \text{ - напряжение в шпангоуте,}$$

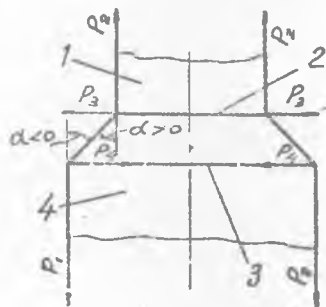
$$P^2 = \frac{N^2}{D} \text{ - продольное погонное усилие в обечайке,}$$

$D$  - диаметр бака в месте излома образующей,

$N^2$  - продольное усилие в оболочке (за счет продольной перегрузки и давления в баке),

$F_w$  - площадь сечения шпангоута,

$\alpha$  - угол между образующими в месте излома ( $\alpha < 0$ , если продольное усилие вызывает сжимающие силы и  $\alpha > 0$  в противном случае; см. рис. 7.2).



$P_1, P_2$  - продольные усилия в баке,

$P_3$  - растягивающее усилие в шпангоуте,

$P_4$  - сжимающие напряжения в шпангоуте.

1 - обечайка,

2 - шпангоут,

3 - шпангоут

4 - обечайка,

Рис. 7.2

## 8. Шпангоуты сферических баков (рис.8.1)

Сферические баки, встроенные в корпус ракеты, могут иметь силовые шпангоуты (3), служащие не только для крепления бака, но и для передачи усилий вдоль корпуса. Из-за разницы жесткостей шпангоута и оболочки в месте крепления шпангоута появляются большие изгибные напряжения, которые могут быть сглажены за счет переменных по толщине полок профиля шпангоута ( $I_2$ ). Для этих же целей уменьшают жесткость шпангоута путем вырезания полки шпангоута (3, вид  $A_2$ ).

При присоединении к оболочке бака фермы, переходного конуса и др. силовых конструкций необходимо в оболочку бака вваривать дополнительный шпангоут (6). При этом следует выполнять требование к конструкции тонкостенных оболочек – передавать усилия по касательной к теоретическому контуру оболочки, исключив, по возможности, силы, нормальные к оболочке.

Размер сечения шпангоутов выбирают в соответствии с размерами присоединяемых к нему фланцев отсеков.

## 9. Шпангоуты торовых баков (рис.9.1)

Шпангоуты торовых баков напоминают по конструкции шпангоуты сферических баков (см. раздел 3). Для крепления каких-либо устройств к внутренней поверхности торового бака применяют вваренные в оболочку шпангоуты (4).

## 10. Шпангоуты кольцевых баков (рис.10.1)

Шпангоуты кольцевых баков так же, как и шпангоуты торовых баков служат для крепления в корпусе (6,8,9), так и для крепления каких-либо приборов или двигателя (7). Кроме того, имеются подкрепляющие шпангоуты (5), которые поддерживают оболочку (4), нагруженную давлением в баке. Без этих шпангоутов оболочка, нагруженная внешним или внутренним давлением, может потерять устойчивость. Размеры сечения подкрепляющих шпангоутов выбирают из условия, что

$$\sigma_{\alpha} \leq \sigma_{кр}$$

где  $\sigma_{\alpha} = \frac{p R \alpha}{\delta}$  – нормальные напряжения в шпангоуте,

$p$  – давление в баке,

$\alpha$  – шаг шпангоутов,

Шлангоуты сферических баков

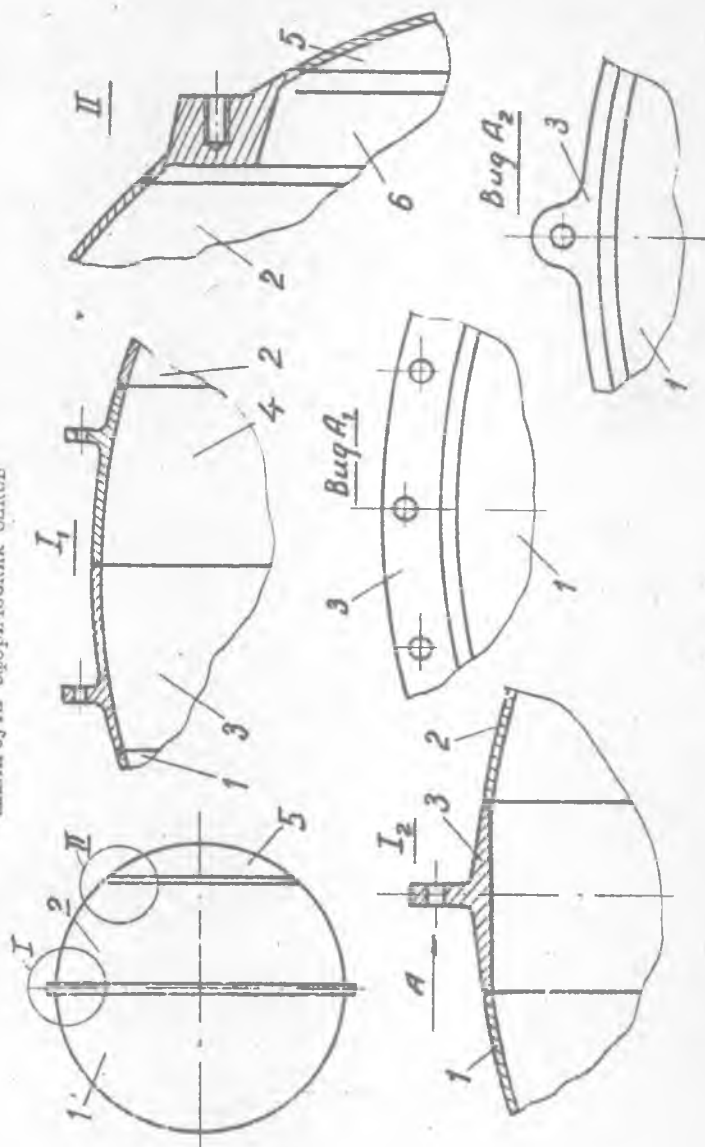


Рис. 8.1

1 - полушара, 2 - сферическая осечка, 3 - шлангоут, 4 - шлангоут, 5 - донце, 6 - дополнительный шлангоут

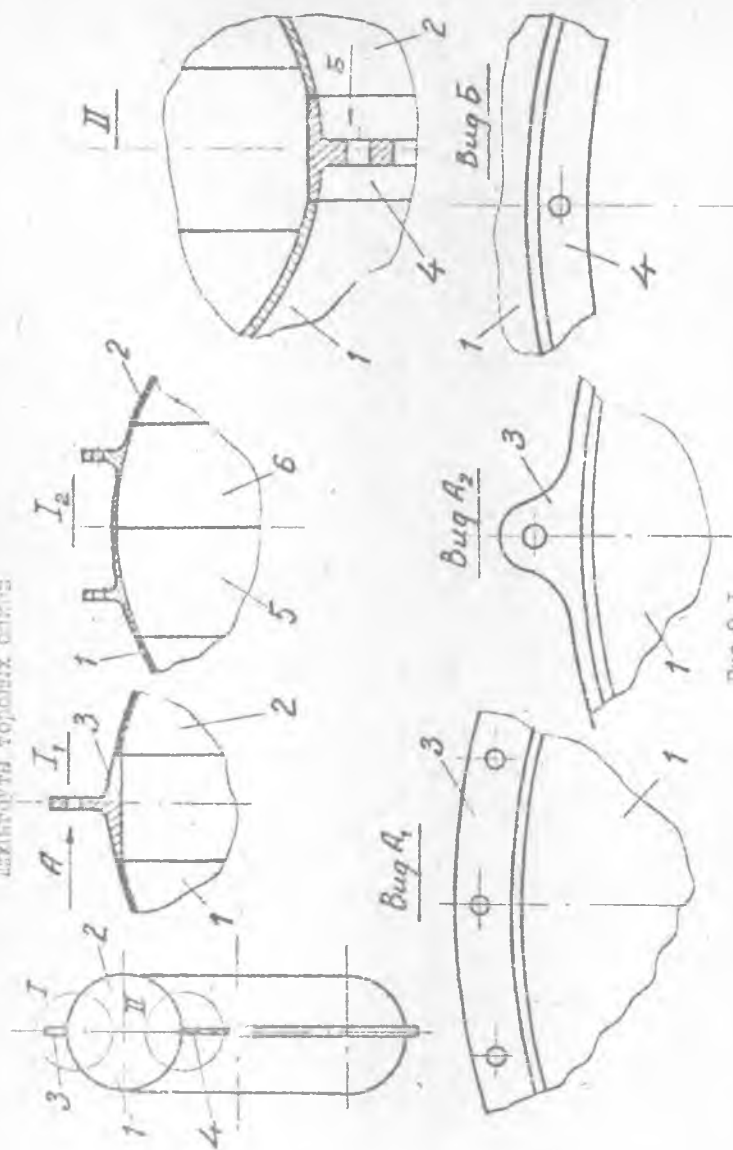


Рис.9.1

I - полутороник сболочка, 2 - полутороник сболочка, 3 - штытүтү, 4 - внутреннй штытүтү, 5 - полунштытүтү, 6 - полунштытүтү

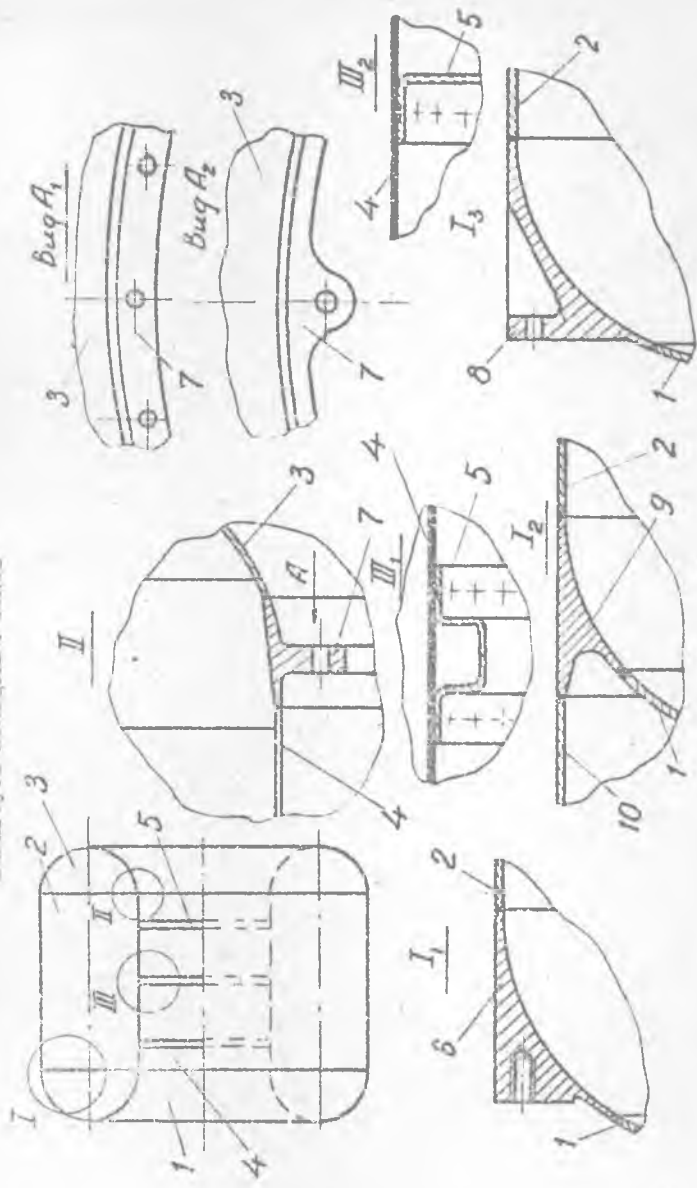


Рис. 10.1

I — полторовая осечка, 2 — внешняя осечка, 3 — подутор, 4 — внутренняя осечка,  
 5 — подкрепляющий шлангоут, 6 — стыковой шлангоут, 7 — шлангоут, 8 — стыковой шлангоут,  
 9 — шлангоут, 10 — жбка сакл



$R$  - радиус шпангоута,

$F_w$  - площадь сечения шпангоута.

$\sigma_{кр} = \frac{3EJ_w}{R^3}$  - критические напряжения шпангоута на сжатие,

$E$  - модуль упругости материала шпангоута,

$J_w$  - момент инерции сечения шпангоута.

## II. Тоннельные трубы (рис. II.1)

При необходимости прокладки магистральной трубы сквозь бак встречается 2 случая:

1 случай - компоненты топлива в баке и в магистральной трубе имеют одинаковую температуру,

2 случай - температура одного из компонентов сильно отличается от температуры другого, например, жидкого кислорода и керосина.

В первом случае магистральная труба, проходящая через бак, герметично враскивается в верхнее (и нижнее) днища. При подаче давления наддува в баке удлинение цилиндрической обечайки бака и перемещение обоих днищ может привести к появлению больших напряжений в трубе и в месте заделки ее в днище. Для ликвидации этого в трубе устанавливаются компенсаторы-сифоны, обеспечивающие свободное перемещение концов труб.

Во втором случае необходимо магистральную трубу делать отдельно от бака, теплоизолировать ее и устанавливать в процессе монтажа в тоннельную трубу, которая, в свою очередь, обеспечивает герметичный проход магистральной трубы сквозь бак. Размер тоннельной трубы должен обеспечить свободный монтаж имеющей фланцы магистральной трубы.

В тоннельной трубе устанавливаются компенсаторы (5) и гильзы (6) для устранения перекосов компенсатора. Компенсаторы, гильзы и тоннельные трубы (3) соединяются между собой герметично за счет установки прокладок (10) из соответствующих материалов. Тоннельная труба представляет собой цилиндрическую оболочку, на которую действует внешнее давление. Для предотвращения потери устойчивости на тоннельной трубе делают рифты или приваривают поддерживающие кольца. Размеры рифтов или колец должны соответствовать условию

$$\frac{r}{D} \geq \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Pr^3}{3\pi E \delta^2}}$$

Тоннельные тросы

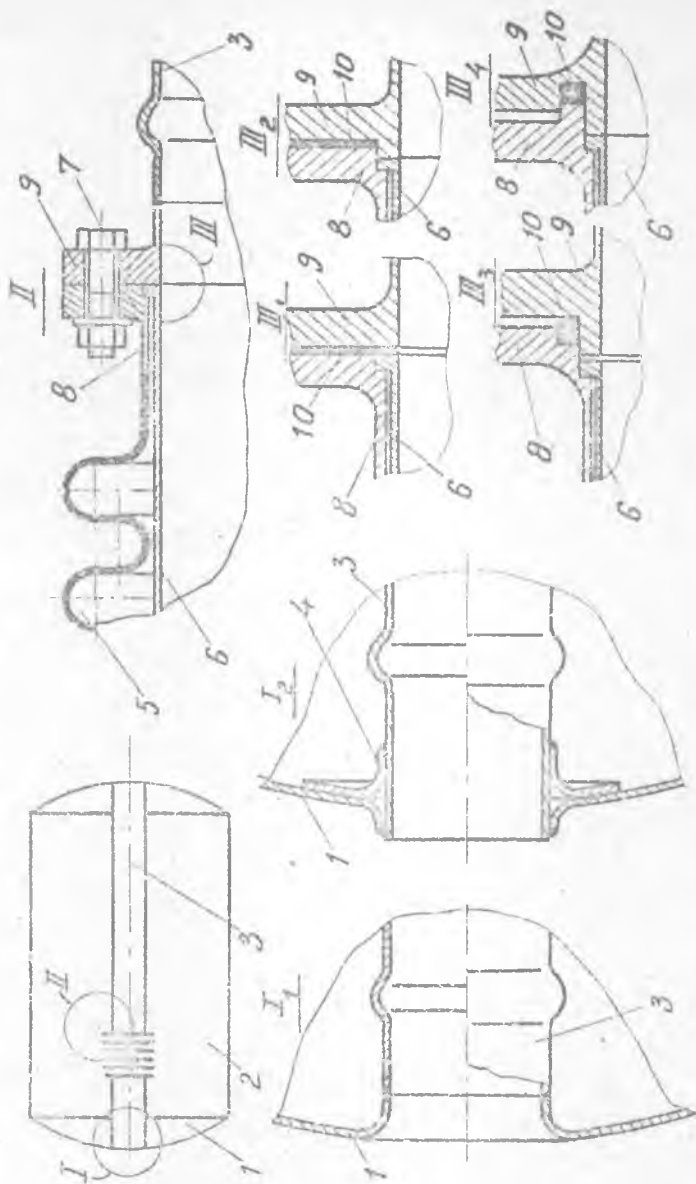


Рис. III.1

I - длина, 2 - оболочка, 3 - тоннельный трос, 4 - усиление, 5 - стальной, 6 - гильза, 7 - крепеж, 8 - фланец смолтона, 9 - фланец тросов, 10 - герметизирующая прокладка

где  $D$  - диаметр тоннельной трубы,  
 $\delta_r$  - толщина тоннельной трубы,  
 $l$  - шаг рифтов,  
 $r$  - радиус рифта,  
 $E$  - модуль упругости материала трубы,  
 $P_n^3$  - давление в баке.

### 12. Юбки баков (рис.12.1)

Передача усилий от обечеек несущих баков на соседние отсеки может идти через приваренные к бакам юбки. Юбка может иметь простую конструкцию - сплошной цилиндр (I), приваренный к дну, и более сложную - обечайка с фланцевым шпангоутом (II) или цилиндрическая обечайка (4), переходящая в стрингерную конструкцию, состоящую из обшивки (5), стрингеров (6) и стикового шпангоута (7).

Каждая юбка, как правило, нагружается сжимающими усилиями, перерезывающей силой и изгибающим моментом.

Размеры сечений элементов конструкции юбок выбираются так же, как и элементы конструкции сухих отсеков ( см. часть 3 "Нормы для отсеков").

### 13. Кольцевой несущий бак (рис.13.1)

На рис.13.1 дан пример конструкции несущего кольцевого бака, состоящего из двух полуторов (2) со стыковыми шпангоутами (8), наружной обечайки (1) и внутренней обечайки (3). К стыковым шпангоутом бака прикрепляются стыковые шпангоуты (6 и 13) соседних отсеков. Для крепления двигателя к нижнему полутору прикреплен силовой шпангоут (9). Внутренняя обечайка подкреплена кольцами внутри (15) и снаружи (14).

Сечения обечеек и шпангоутов выбираются в соответствии с имеющимися нагрузками на бак (см.Предисловие).



Кольцевой несущий бак

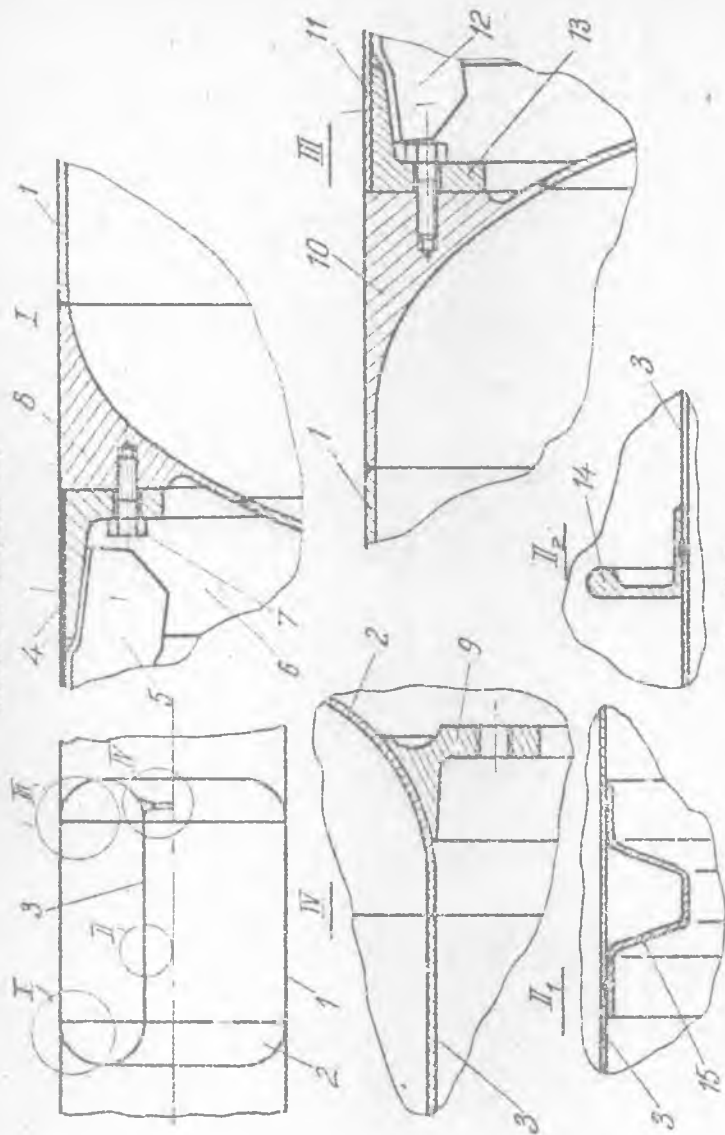


Рис. 13.Г

I - наружная обечайка, 2 - полукор, 3 - внутренняя обечайка, 4 - обшивка, 5 - стрингер, 6 - стыковой шпангоут, 7 - крепеж, 8 - шпангоут бака, 9 - шпангоут, 10 - шпангоут бака, 11 - обшивка, 12 - стрингер, 13 - стыковой шпангоут

#### 14. Ичеистый бак (рис.14.1)

Ичеистый бак состоит из нескольких сферических оболочек (1,2,3), соединенных между собой через кольцевые шпангоуты (4). Шпангоуты могут иметь диафрагму (5). Если радиусы соединяемых сферических оболочек одинаковы, то шпангоут (4) нагружается сферическими обечайками в плоскости кольца. Условие прочности этого кольца без диафрагмы имеет вид

$$\sigma_{\kappa}^p \leq \sigma_{\sigma},$$

где  $\sigma_{\kappa}^p = f \sigma_{\kappa}^{\sigma}$  - разрушающее (расчетное) напряжение в кольце,

$$\sigma_{\kappa}^{\sigma} = \frac{p_H^2 \sqrt{R_{\sigma}^2 - R_{\kappa}^2} \cdot R_{\kappa}}{F_{\kappa}} - \text{напряжение в кольце,}$$

$p_H$  - давление в баке,

$R_{\sigma}$  - радиус сферической оболочки,

$R_{\kappa}$  - радиус соединительного кольца,

$F_{\kappa}$  - площадь сечения кольца,

$\sigma_{\sigma}$  - временное сопротивление разрыву материала бака.

Установка негерметичной диафрагмы (5) уменьшает напряжения в кольце, уменьшает массу бака, но значительно затрудняет сборку-сварку бака.

В ичеистом баке, как и в других баках, имеется заборное устройство (10, 11, 12, 13, 14), к которому крепится труба датчика уровня (7), другой конец которой вкладывается в ловитель (6). Полость в трубе датчика уровня сообщается с баком через отверстие в заглушке (8)

#### 15. Крепление торового бака (рис.15.1)

Баки ракет, как большинство тонкостенных конструкций, способны "дышать", т.е. изменять свои размеры при появлении внутри бака избыточного давления.

На рис. 15.1 показаны несколько способов крепления торовых баков. Эти крепления позволяют баку "дышать" и воспринимать нагрузки, действующие на него, без изменения положений центра масс:

- крепление с помощью штырей (8). Таких штырей должно быть не менее трех, желательно иметь четыре штыря. Наиболее ответственной деталью такого крепления является сам штырь,

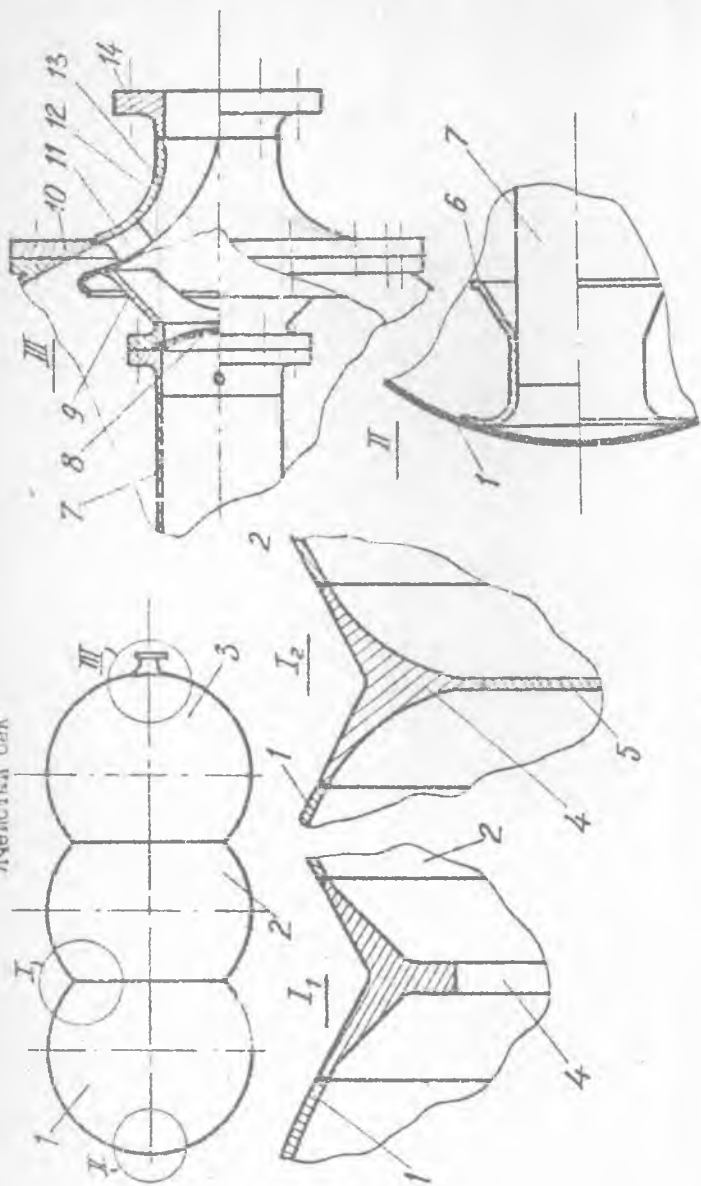


Рис. 14.1

1 - сферическая оболочка, 2 - сферическая оболочка, 3 - сферическая оболочка,  
 4 - крестовой шпангоут, 5 - диаметр, 6 - ловитель, 7 - датчик уровня, 8 - заглушка,  
 9 - кронштейн, 10, 11, 12, 13, 14 - заборное устройство

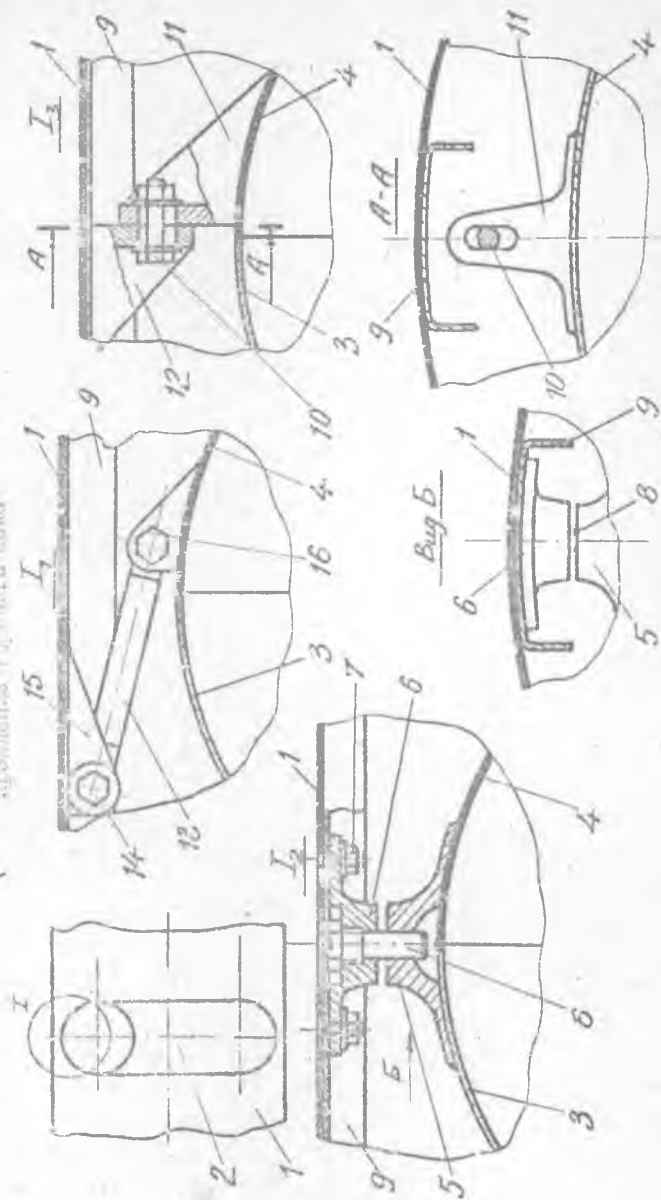


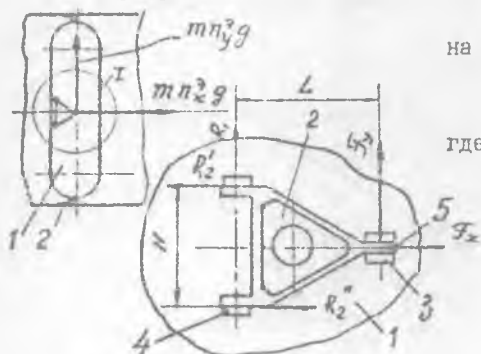
Рис.15.Г

1 - корпус ракеты, 2 - торцовый бак, 3 - полутор, 4 - полутор, 5 - кронштейн, 6 - кронштейн, 7 - крепеж, 8 - штырь, 9 - профиль, 10 - крепеж, 11 - кронштейн, 12 - кронштейн, 14 - крепеж, 15 - кронштейн, 16 - крепеж



который работает, как защемленная балка, и за счет наличия зазора, выбираемого при перемещении бака при "дыхании", воспринимает большие изгибные напряжения;

- крепление с использованием серег (13). В этом случае серьги треугольной формы крепят бак к корпусу ракеты. При этом бак изменяет свой диаметр, но его центр остается на оси. Серьги воспринимают силы, как от продольной, так и поперечной перегрузки (см. рис. 15.2).



- 1 - торцовый бак,
- 2 - серьга,
- 3 - "уши" на баке,
- 4 - "уши" на корпусе,
- 5 - "уши" серьги.

Рис. 15.2

Усилия  $F_y$  и  $F_x$  вызывает реакции в опорах

$$R_1 = F_y; \quad R_2^1 = F_x - F_y \frac{L}{H}; \quad R_2^2 = F_x + F_y \frac{L}{H},$$

где  $L$  и  $H$  - размеры серьги.

Эти силы не должны вызывать поломку самой серьги и "ушей". Не должны также появляться усилия смятия и среза болтов и серьги, превышающие допустимые.

- крепление со скольжением. Такое крепление допустимо при наличии овальности в кронштейнах (12) и (или) (11). Все усилия, действующие на бак из-за перегрузок, воспринимаются кронштей-

От поперечной перегрузки на серьгу действует сила

$$F_y = \frac{mn_y^2 g f}{2},$$

где  $m$  - масса торцового бака с жидкостью,  
 $n_y^2$  - эксплуатационная боковая перегрузка,  
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  - ускорение силы тяжести.  
 $f$  - коэффициент безопасности.

От продольной перегрузки на серьгу действуют сила

$$F_x = \frac{mn_x^2 g f}{4}$$

где  $n_x^2$  - эксплуатационная продольная перегрузка,  
 $N = 4$  - число серег.

нами на баке и на корпусе ракеты. По этим усилиям подбирают сечения кронштейнов и нормали крепежа.

#### 16. Крепление несущего бака (рис.16.1)

На рис.16.1 показан пример крепления цилиндрического несущего бака, который подвешен на серьгах (2). Бак аналогично может быть не подвешен, а поставлен.

Другой конец бака имеет возможность перемещаться в продольном направлении (при заправке, при подаче давления наддува и т.п.), но для предотвращения перемещения в поперечном направлении устанавливают ограничители (10) с прокладками (11) из войлока или резины. Ограничители должны быть установлены так, чтобы они упирались в шпангоут бака (12).

Прочность серег и их крепления должна быть достаточна, чтобы воспринимать продольные и поперечные усилия от действующих на ракету перегрузок. Подбор сечений серьги и ее крепления аналогичен подбору сечений элементов конструкции крепления торового бака (см. раздел 15).

Крепление несущего бака

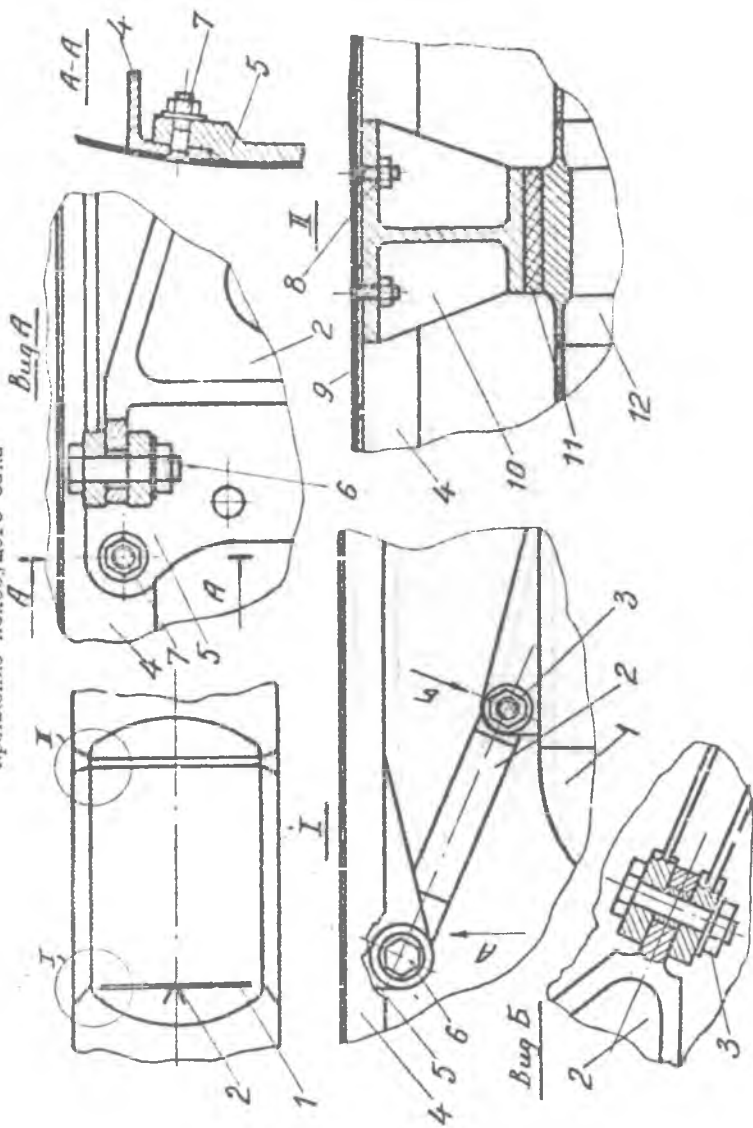


Рис.16.1

1 - несущий бак, 2 - оерьга, 3 - крепеж, 4 - профиль, 5 - кронштейн, 6 - крепеж, 7 - крепеж, 8 - крепеж опоры, 9 - обшивка корпуса, 10 - опора, 11 - прокладка, 12 - шпангоут

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Предисловие .....	3
I. Формы баков .....	7
2. Раскрой днищ .....	10
3. Обечайки баков .....	10
4. Совмещенные днища баков без тепло- изоляции .....	13
5. Совмещенные днища с теплоизоляцией	15
6. Стыковые шпангоуты баков .....	15
7. Рядовые шпангоуты баков .....	17
8. Шпангоуты сферических баков .....	21
9. Шпангоуты торовых баков .....	21
10. Шпангоуты кольцевых баков .....	21
II. Тоннельные трубы .....	25
12. Юбки баков .....	27
13. Кольцевой несущий бак .....	27
14. Личейный бак .....	30
15. Крепление торового бака .....	30
16. Крепление ненесущего бака .....	34