

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Д.А. БАРАНОВ, В.Д. ЕЛЕНЕВ

ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И КОНСТРУИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по специальности 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов и по направлению подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика

САМАРА
Издательство Самарского университета
2020

УДК 629.76 (075)
ББК 39.62я7
Б241

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В.А. Б о р о д а в к и н ,
д-р техн. наук, проф. А.В. Б о л д ы р е в

Баранов, Дмитрий Александрович

Б241 Типовые решения в проектировании и конструировании элементов ракет-носителей: учеб. пособие / *Д.А. Баранов, В.Д. Еленев.* – Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 112 с.: ил.

ISBN 978-5-7883-1441-9

Представлена библиотека типовых конструкторских решений устройств топливных баков разгонных блоков ракет-носителей, монтажа бортовой аппаратуры и кабельной сети. Приводятся варианты конструкций и простейшие зависимости, необходимые для выбора материалов, форм и размеров. Описание устройств сопровождается выполненными с применением трехмерного геометрического моделирования иллюстрациями, поясняющими их конструкцию.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, изучающих дисциплины «Конструкция и проектирование летательных аппаратов», «Автоматизация проектирования и конструирования летательных аппаратов» (специальность 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов и направление подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика) и может быть использовано при выполнении курсового и дипломного проектирования.

УДК 629.76 (075)
ББК 39.62я7

ISBN 978-5-7883-1441-9

© Самарский университет, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
Введение	5
1 Расчет и конструирование баков	7
1.1. Формы баков	10
1.2. Обечайки баков	13
1.3. Днища баков.....	16
1.4. Совмещенные днища баков без теплоизоляции.....	18
1.5. Совмещенные днища с теплоизоляцией.....	21
1.6. Крепление несущего бака.....	23
1.7. Крепление торового бака	26
1.8. Стыковые шпангоуты баков	28
1.9. Рядовые шпангоуты баков	31
1.10 Шпангоуты сферических баков	34
1.11 Шпангоуты торových баков	36
1.12 Шпангоуты кольцевых баков.....	38
1.13 Ячеистый бак.....	39
1.14 Юбки баков	41
1.15 Арматура баков	44
1.15.1 Тоннельные трубы.....	45
1.15.2 Люки – лазы	48
1.15.3 Герметизация люков-лазов	50
1.15.4 Фланцы на днищах	53
1.15.5 Донные заборные устройства с воронкогасителем	55
1.15.6 Заборное устройство возле тоннельной трубы	57
1.15.7 Заборные устройства торových и кольцевых баков	58
1.15.8 Силовые элементы кольцевого бака	59
1.15.9 Диафрагмы и сетки.....	62
1.15.10 Успокоительные стенки и шпангоуты	64
1.15.11 Крепление датчика уровня.....	66
1.15.12 Крепление датчика наполнения.....	68
1.15.13 Распылители системы наддува	69
1.15.14 Труба наддува и сброса давления.....	71
1.16 Стыки и соединения	73
1.16.1 Стыки гладких листов	73
1.16.2 Стыки стрингеров	75
1.16.3 Стыки шпангоутов.....	77
1.16.4 Стыки металлических панелей	78
1.16.5 Стыки неметаллических панелей	80
1.16.6 Стыки отсеков малого диаметра.....	82
1.16.7 Стыки отсеков большого диаметра	84
1.16.8 Стыки магистралей неподвижные, разъемные и неразъемные.....	86
1.16.9 Стыки магистральные подвижные	96
2 Монтаж бортовой кабельной сети	100
3 Монтаж бортовой аппаратуры	104
Библиографический список	108

*Светлой памяти замечательного педагога
и талантливого ученого
Леонарда Петровича Юмашева
посвящается*

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1995 году доцентом кафедры летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета Л.П. Юмашевым было выпущено уникальное пособие «Устройство ракет-носителей (сухие отсеки и топливные баки)» [1]. Это пособие вобрало в себя опыт самого автора, а также многих проектных организаций и ведущих ученых в решении задач создания разгонных блоков ракет-носителей (РН). В нем были приведены типовые конструкторские решения основных узлов сухих отсеков и топливных баков с указанием, для каких расчетных случаев и условий их целесообразно применять. Это пособие стало неотъемлемой частью учебно-методического материала, используемого при подготовке специалистов по специальности 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов и направлению подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика.

Развитие технологий проектирования, широкое внедрение автоматизированных систем создания конструкторской документации диктуют необходимость использования электронных библиотек типовых конструкторских решений с применением как двухмерного, так и трехмерного геометрического моделирования. Авторы поставили своей целью весь материал пособия Л.П. Юмашева представить в виде электронной библиотеки с использованием параметрического задания основных размеров узлов ракет-носителей в среде SolidWorks, позволяющей включать типовые решения во вновь создаваемые геометрические модели. Наличие у этой библиотеки собственной программной оболочки для организации диалога с целью выбора типового решения с возможностью подключения расчетных блоков определения основных размеров значительно расширяет возможности её применения.

В данное пособие вошел материал, в котором с использованием трехмерных иллюстраций описываются варианты типовых конструкторских решений элементов баков РН, вошедшие в электронную библиотеку.

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование и конструирование современных РН, предназначенных для вывода полезной нагрузки (космические аппараты, орбитальные станции, разгонные блоки и т.п.) на орбиту Земли является сложным творческим процессом. РН принято разделять на составляющие его сухие отсеки, переходные отсеки, обтекатели, топливные баки с арматурой и т. п. В зависимости от назначения, целевых характеристик, расчетных случаев эксплуатации и других условий возможны различные варианты конструкторских решений как отдельных элементов, так РН в целом. На разнообразии конструкций влияют:

- способ размещения разгонного блока на ракете (от того, какова схема соединения блоков – последовательная («тандемная»), параллельная («пакетная») или последовательно-параллельная (смешанная);
- характеристики размещаемых в блоке компонентов топлива;
- тип разделения блоков (горячее или холодное разделение);
- вид крепления блоков между собой;
- наличие в промышленности необходимых конструкционных материалов;
- развитие технологических служб, позволяющих обеспечить создание предлагаемой конструкции;
- квалификация проектировщиков и конструкторов, способных создавать рациональные конструкции, отвечающие требованиям достижения минимума массы конструкции при высокой технологичности, экономичной эксплуатации, минимуме срока разработки и изготовления и т.п.

При отсутствии или при очень малом опыте конструирования бывает затруднительно создать рациональную конструкцию и, тем более, проработать множество вариантов устройств и выбрать среди них наилучший.

Данное учебное пособие написано для тех, кто учится конструировать, и содержит материал для выбора конструктивных решений узлов и отсеков ракеты-носителя, в частности, ее баков.

Приводятся простейшие расчетные зависимости, необходимые для квалифицированного выбора материалов, форм и размеров.

В конце пособия приведен библиографический список источников, который был использован при работе над текстом и рисунками и который дает возможность расширить познания в области конструирования отсеков корпуса и узлов РН.

Материал пособия собран, как говорится, «по крохам» из многих источников, поэтому отсутствуют подробные ссылки на использованную литературу.

Электронный вариант пособия, содержащий трехмерные геометрические модели различных узлов баков ракет-носителей, позволяет использовать типовые конструкторские решения в собственных разработках. При этом параметрическое задание основных размеров элементов значительно расширяет возможности создания собственных трехмерных моделей.

Учебное пособие может быть использовано как при изучении дисциплин «Конструкция и проектирование летательных аппаратов» и «Автоматизация проектирования и конструирования летательных аппаратов», так и при выполнении курсовых и дипломных проектов.

1 РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ БАКОВ

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

- несущие баки, т.е. баки, обечайки которых являются частью корпуса ракеты и передают усилия по нему;
- ненесущие баки, которые являются лишь емкостями для хранения жидкости.

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

Основным материалом для изготовления баков является дюралюминиевый сплав АМгб, достаточно прочный и хорошо свариваемый в защитной среде аргона. Для баков жидкого водорода желательно применять сплав 1201. Есть примеры изготовления баков из сталей 30ХГСА, ЭИ654, 12Х18Н10Т с нагартовкой или без неё.

Оболочки баков нагружаются внутренним избыточным давлением:

$$P_a^{\text{э}} = P_n^{\text{э}} + n_x^{\text{э}} H \rho g,$$

где $P_n^{\text{э}}$ – давление наддува бака, $n_x^{\text{э}}$ – продольная перегрузка, H – высота столба жидкости, ρ – плотность жидкости, g – ускорение силы тяжести.

Под действием этого давления в оболочке бака появляются нормальные напряжения растяжения (рис. 1):

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

- в продольном сечении:

$$\sigma_{1a}^{\text{э}} = \frac{P_a^{\text{э}} D}{2\delta};$$

- в поперечном сечении:

$$\sigma_{2a}^{\text{э}} = \frac{P_a^{\text{э}} D}{4\delta},$$

где D – диаметр бака,

δ – толщина обечайки;

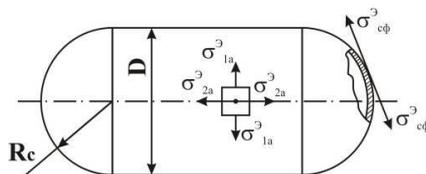


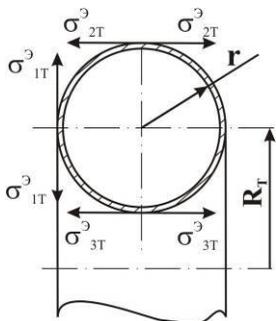
Рисунок 1 – Нормальные напряжения растяжения

- в сферических оболочках:

$$\sigma_{2a}^{\circ} = \frac{P_a^{\circ} R_C}{2\delta},$$

где R_C – радиус сферы;

- в торовых баках напряжения вычисляют по формулам:



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

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

где $P^{\circ} = P_H^{\circ}$ – избыточное давление в баке, R_T – радиус тора, r – радиус образующей тора;

- в кольцевых баках напряжения вычисляются так же, как в торовом баке:
 - нормальные напряжения в продольном сечении наружной оболочки:

Рисунок 2 – Схема торового бака

ки:

$$\sigma_{1n}^{\circ} = \frac{P_n^{\circ} D}{2\delta};$$

- нормальные напряжения в продольном сечении внутренней оболочки:

$$\sigma_{1a}^{\circ} = \frac{P_a^{\circ} d}{2\delta},$$

где D – внешний диаметр бака, d – внутренний диаметр бака.

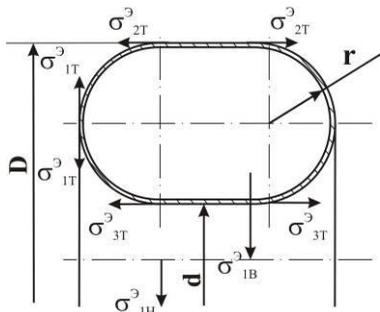


Рисунок 3 – Схема кольцевого бака

Внешние обечайки несущих кольцевых и обечайки цилиндрических баков участвуют в передаче сил вдоль корпуса ракеты и воспринимают такие нагрузки, как перерезывающая сила Q° и изгибающий момент $M_{изг}^{\circ}$ в сечении бака и осевая сила N° .

При этих нагрузках появляются:

- максимальные касательные напряжения:

$$\tau_{\max}^{\circ} = \frac{Q^{\circ} S}{I\delta},$$

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

$$S = \frac{\pi D^3 \delta}{8} \text{ – момент инерции площади сечения;}$$

- максимальные нормальные напряжения:

$$\sigma_{\max}^{\varnothing} = \sigma_2^{\varnothing} - \frac{|M_{изг}^{\varnothing}|}{W} - \frac{|N^{\varnothing}|}{F},$$

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

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

$$\sigma_2^{\varnothing} = \begin{cases} \sigma_{2T}^{\varnothing} \text{ – для торового и кольцевого баков,} \\ \sigma_{2a}^{\varnothing} \text{ – для цилиндрического бака;} \end{cases}$$

- нормальные напряжения в зоне максимальных касательных напряжений:

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

Условиями прочности внешних обечаек кольцевых баков и обечаек цилиндрических баков являются соотношения:

$$f \sigma_{\max}^{\varnothing} \leq k_C \sigma_B, \quad \text{если } \sigma_{\max}^{\varnothing} > 0;$$

$$\left(\frac{\tau_{\max}^{\varnothing}}{\tau_{кр}} \right)^2 + \left(\frac{|\sigma_m^{\varnothing}|}{\sigma_{кр}} \right) \leq 1, \quad \text{если } \sigma_m^{\varnothing} < 0,$$

где $\tau_{кр}$ – критические напряжения на сдвиг гладкой цилиндрической оболочки, f – коэффициент безопасности, k_C – коэффициент ослабления материала в зоне сварки, $\sigma_{кр}$ – критические напряжения сжатия для гладкой цилиндрической оболочки.

В местах соединения цилиндрической (или конической) обечайки и днища устанавливаются усиленные шпангоуты (рис. 4), которые под действием внутреннего избыточного давления подвергаются сжатию.

Условием прочности шпангоута является соотношение

$$f \sigma_{ш}^{\varnothing} \leq k_C \sigma_B,$$

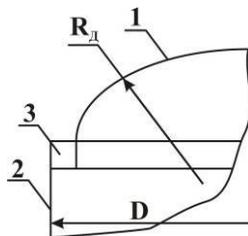


Рисунок 4 – Схема размещения шпангоута: 1 – днище; 2 – обечайка бака; 3 – шпангоут

где $\sigma_{ш}^э = \frac{P^2 D}{8F_{ш}} \sqrt{4R_d^2 - D^2}$ – нормальные напряжения в шпангоуте, $F_{ш}$ –

площадь сечения шпангоута, R_d – радиус днища, D – диаметр бака.

1.1 Формы баков

Выбор формы бака диктуется в основном необходимостью создания РН с наиболее плотной компоновкой. Кроме того, приходится учитывать достоинства и недостатки каждой формы. В табл.1 дан анализ каждой из приведенных на рис. 5 форм.

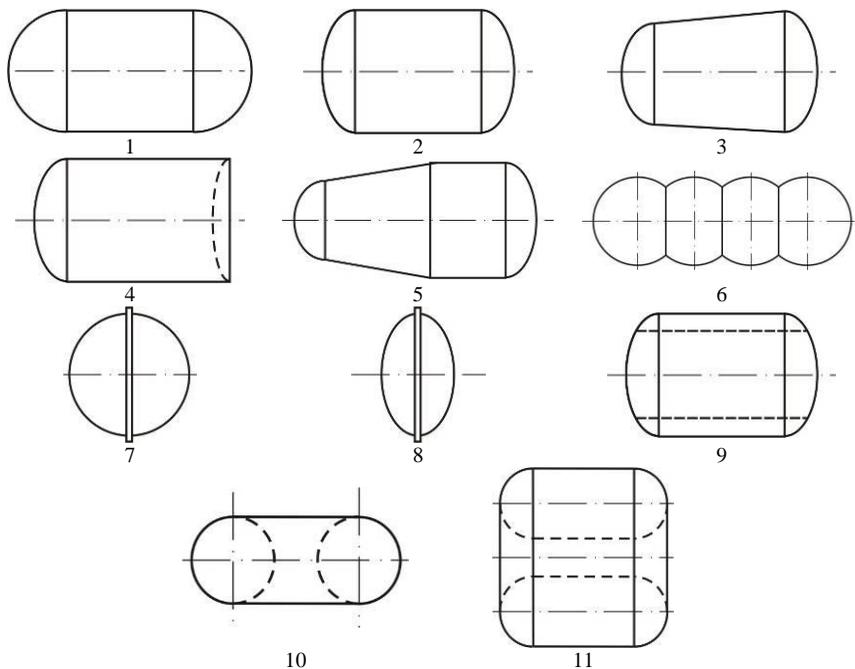


Рисунок 5 – Формы баков:

- 1 – цилиндрический с полусферами; 2 – цилиндрический; 3 – конусный;
- 4 – цилиндрический с вогнутым днищем; 5 – сложной формы;
- 6 – ячеистый бак; 7 – сферический; 8 – чечевицеобразный; 9 – бак в баке;
- 10 – торовый бак; 11 – кольцевой бак

Таблица 1

№	Форма бака	Основные достоинства	Недостатки
1	Цилиндрический бак с полусферическими днищами	1. Небольшая масса оболочки 2. Небольшая масса шпангоутов	1. Слишком велика масса юбок бака и других отсеков, соединяющихся с баком 2. Слишком много пустых мест в корпусе
2	Цилиндрический бак с днищами – сферическими сегментами	1. Наиболее часто встречающаяся форма	
3	Конусный бак с днищами – сферическими сегментами	1. Плотно заполняет конусную часть корпуса	
4	Цилиндрический бак с вогнутым днищем для образования совмещенного днища	1. Возможность осуществлять плотную компоновку 2. Не требуются межбаковые отсеки или юбки баков	1. Сложная конструкция совмещенного днища 2. Затруднен забор топлива из бака 3. Затруднено крепление тоннельных труб 4. Затруднена установка теплоизоляции
5	Бак сложной формы – сочетание цилиндра и конуса	1. Плотное заполнение корпуса	1. В месте сочетания конуса и цилиндра требуется установка дополнительного силового шпангоута
6	Ячеистый бак	1. Можно плотно заполнить объемы любой формы 2. Наименьшая масса бака при том же объеме	1. Сложен в изготовлении 2. Чувствительность к неточности изготовления отдельных элементов 3. Затруднено крепление бака

7	Сферический бак	1. Наименьшая масса бака	1. Затруднено крепление бака 2. Слишком велика масса юбок и других соединяющихся с баком элементов 3. Слишком много пустых мест в корпусе
8	Чечевицеобразный бак	1. Возможность более плотного заполнения корпуса 2. Хорошо сочетается с цилиндрическим баком через совмещенное днище	1. Слишком велика масса бака 2. Затруднено крепление бака
9	Бак в баке	1. Возможность более плотного заполнения корпуса 2. Масса бака в баке меньше суммарной массы двух баков	1. Сложность изготовления бака 2. Затруднен забор топлива из баков
10	Торовый бак	1. Можно достичь более плотной компоновки	1. Затруднено крепление бака
11	Кольцевой бак	1. Возможность более плотного заполнения корпуса 2. Бак может быть несущим 3. Возможно крепление ДРД непосредственно к баку	1. Сложность изготовления 2. Велика масса внутренней оболочки

1.2 Обечайки баков

Цилиндрические и конические обечайки (рис. 6, а, б, в) баков свариваются из заранее согнутых листов или, если обеспечивается прочность, даже из фольги. Если габариты листов не позволяют сделать целиком всю обечайку, то ее сваривают из предварительно сваренных 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 в процессе эксплуатации возможно появление усилий, сжатия. Обечайка может иметь и вафельное подкрепление, способное воспринимать внутреннее и внешнее избыточное давление.

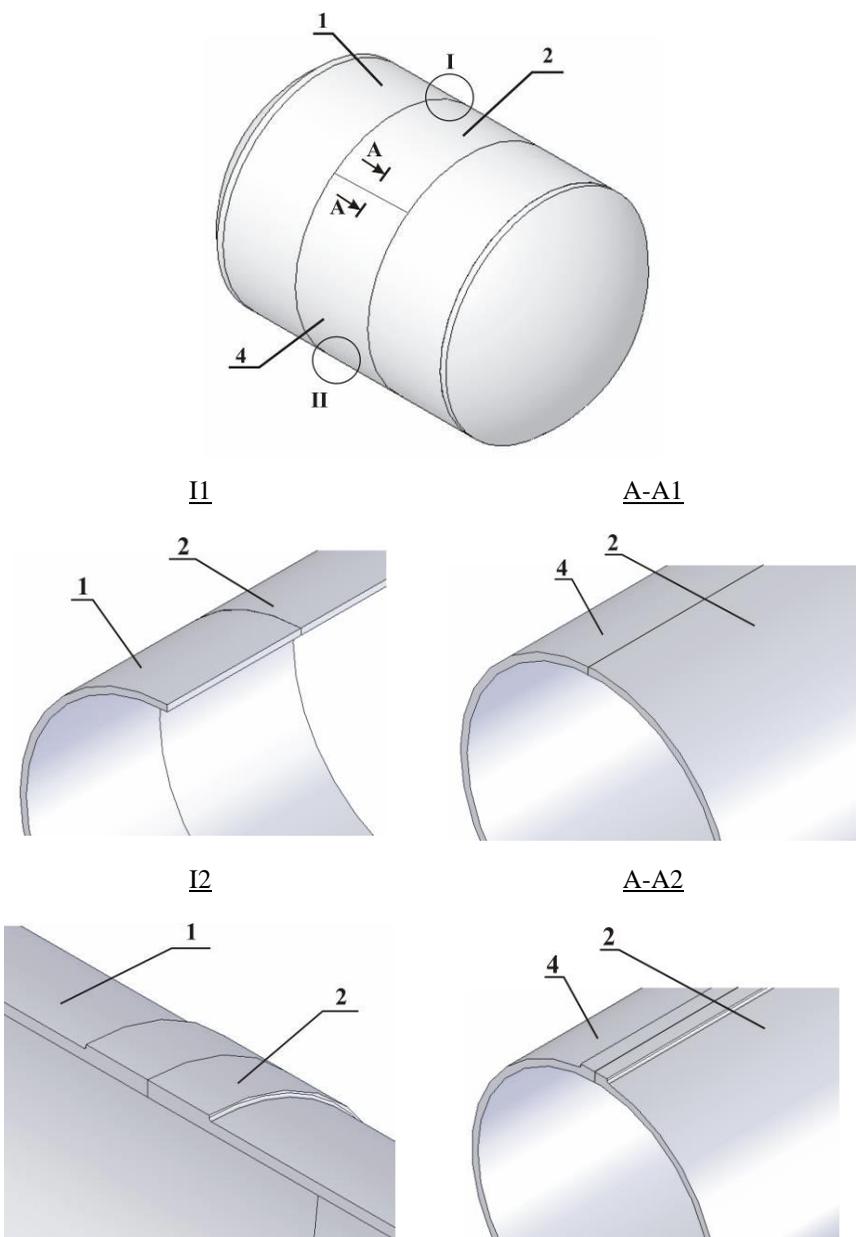
Наиболее прочное соединение обечаек получается при двухстороннем фрезеровании. При отсутствии фрезерования и при фрезеровании снаружи проще обеспечить чистоту внутри бака, т.к. кромки в местах фрезерования имеют неровности, в которых при промывке может остаться мусор.

Сварка листов обечаек и колец при малой толщине ведется встык без разделки кромок, при большой толщине – с разделкой кромок, иногда с двух сторон.

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

Кольца свариваются в единую обечайку встык или внахлестку 1. При сварке внахлестку для герметичности применяется роликовая сварка, для усиления – точечная сварка.

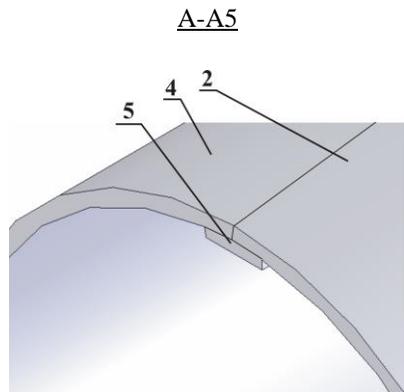
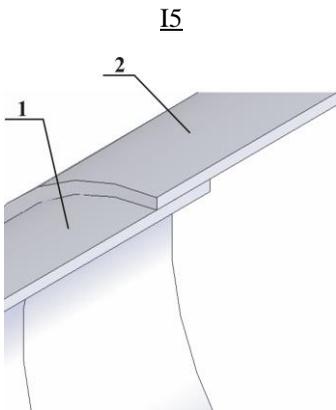
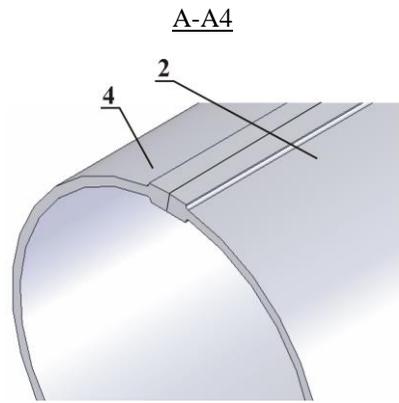
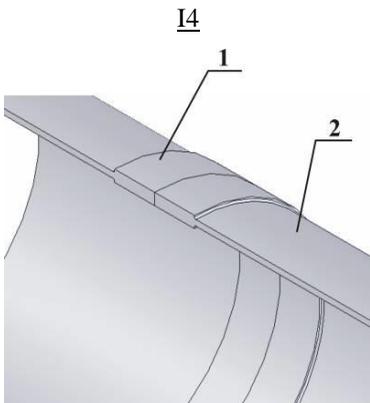
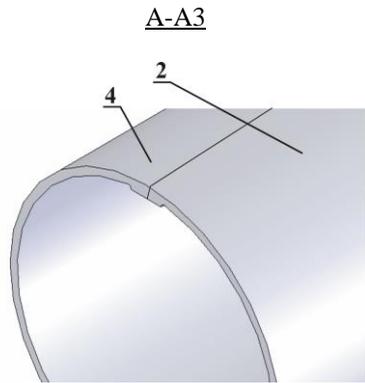
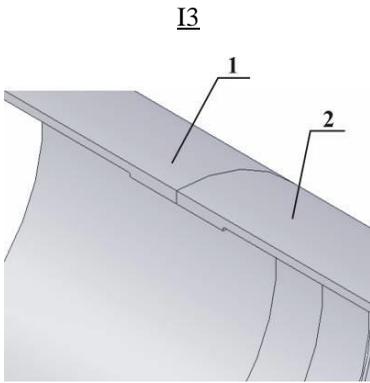
Химическое фрезерование может быть одно- и двустороннее.



а)

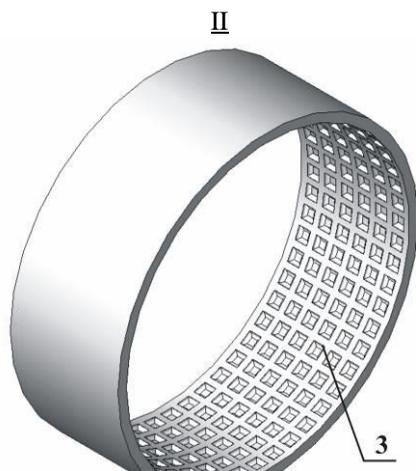
Рисунок 6 – Обечайки баков (начало):

1, 2 – кольца; 3 – вафельная обечайка; 4 – часть кольца; 5 – накладка



6)

Рисунок 6 – Обечайки баков (продолжение)



в)

Рисунок 6 – Обечайки баков (окончание)

1.3 Днища баков

Днища баков желательно штамповать из одного листа. При отсутствии листов с необходимыми габаритами их приходится делать составными следующими методами (рис. 7):

а) вначале листы сваривать встык, а затем из этой заготовки штамповать днище;

б) штамповать части днища 1 и 2, фрезеровать сварные кромки и сваривать части воедино. Такое соединение обеспечивает большую, чем в способе а), прочность;

в) днища собирать и сваривать из предварительно отштампованных лепестков 4 и полюсной части 3. Такая сборка применима при изготовлении баков с большими габаритами.

Для днищ, изготавливаемых из АМгб, желательно применять химическое фрезерование и снимать лишний материал по всей поверхности, за исключением зон сварки. Такая операция делает оболочку равнопрочной с материалом в зоне сварки, где из-за сварки происходит некоторая потеря прочности.

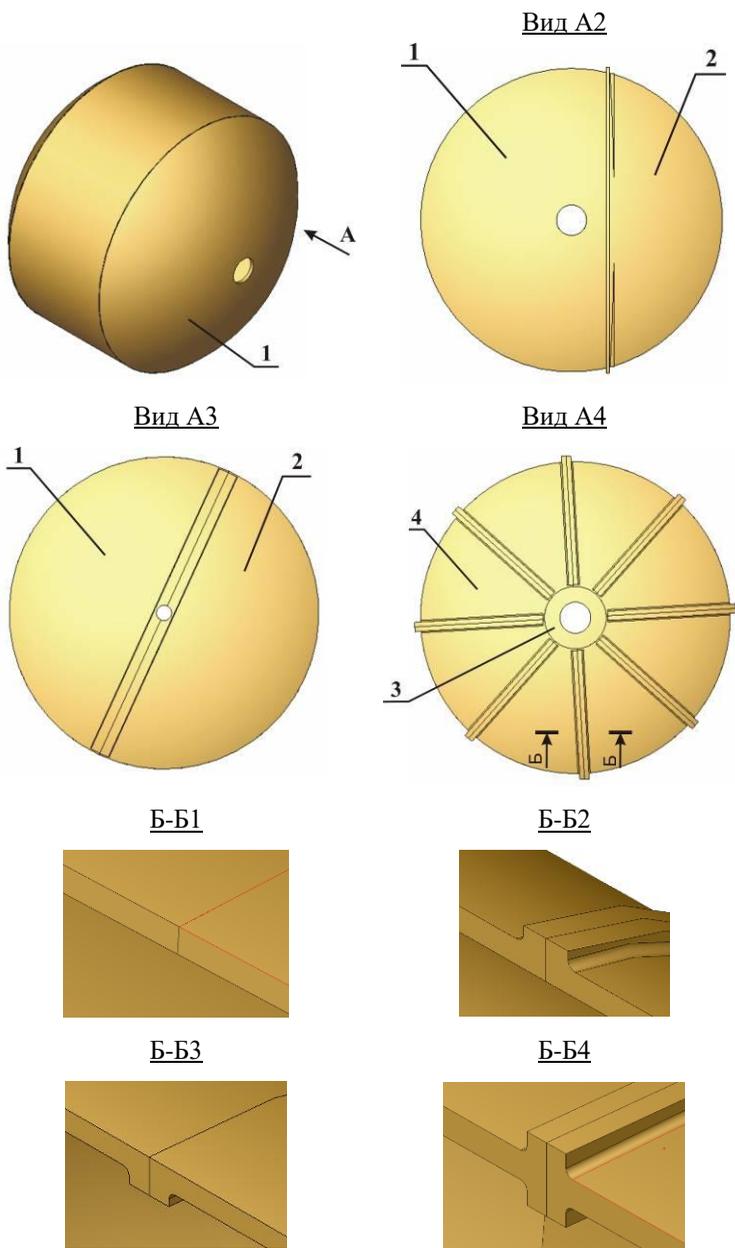


Рисунок 7 – Раскрой днищ:
 1 – днище; 2 – часть днища; 3 – полюсная часть; 4 – лепесток

1.4 Совмещенные днища баков без теплоизоляции

Совмещенные днища баков, несмотря на некоторую сложность конструкции и затруднения при сборке и эксплуатации, позволяют создать более плотную компоновку, а, следовательно, меньшие габариты. На рис. 8 даны несколько вариантов конструкции совмещенных днищ:

- (11) – совмещенное днище состоит из двух частей. Часть 3 приваривается к обечайке роликовой сваркой вслед за приваркой части 4. В районе полюса эти две части касаются друг друга, обеспечивая тем самым местную работу при перепаде давления в баках 1 и 2;
- (12) – двойное днище заменено одинарным 4 с силовым шпангоутом 5;
- (13) – верхний бак 1 делается обычной конструкции, а нижний 2 без верхнего днища. Нижний бак прикрепляется к верхнему через шпангоут 11. Герметичность обеспечивается постановкой прокладки 10;
- (14) – 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;
- (15) – верхний и нижний баки изготавливаются отдельно, как у конструкции (14), но соединяются шпангоуты между собой «в шип» с фиксацией пружинным кольцом 9, входящим в углубления шпангоутов 5 и 7.

В вариантах (14) и (15) между частями совмещенного днища устанавливаются упоры – бобышки с тем, чтобы обе части днища работали совместно.

При конструировании совмещенных днищ необходимо иметь в виду, что в эксплуатации перепад давления не должен вызывать напряжений сжатия в оболочке днищ. С точки зрения прочности толщину каждой части двойного днища можно принять равной половине однослойного днища.

Полость между двумя днищами дренируется, и если нарушена герметизация какого-либо шва, то из дренажного отверстия появятся пары просочившейся жидкости.

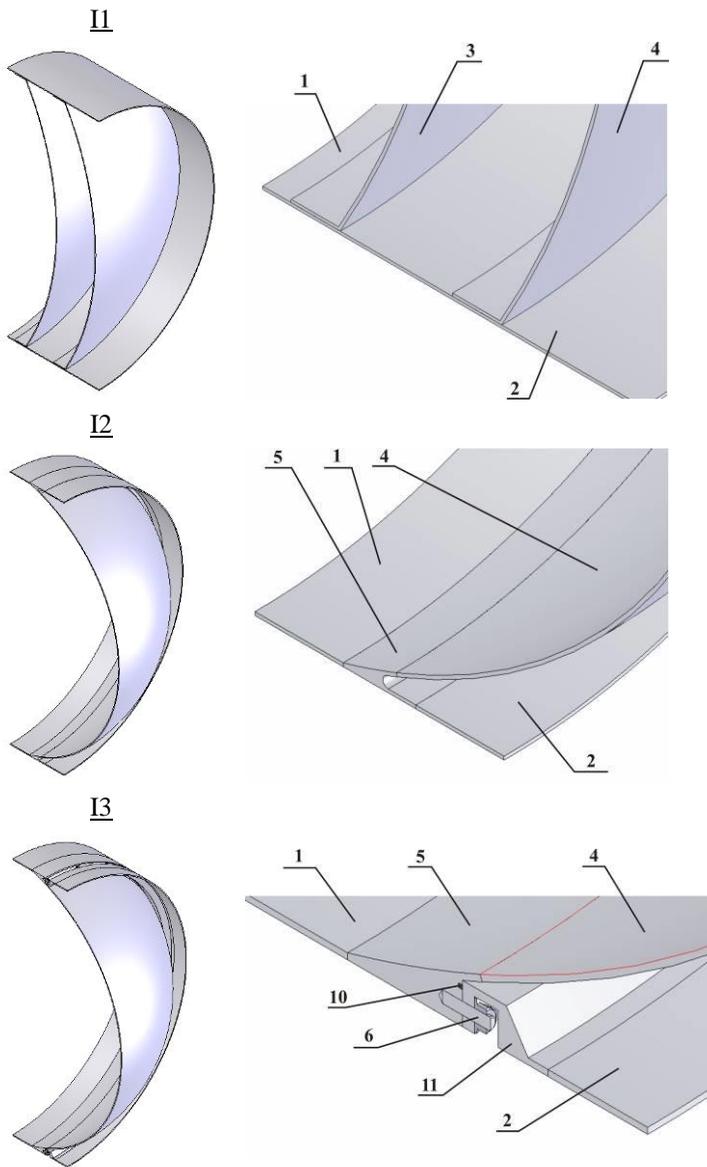
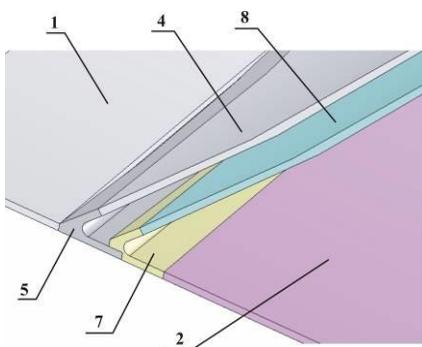
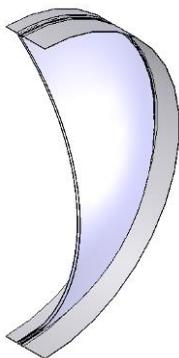
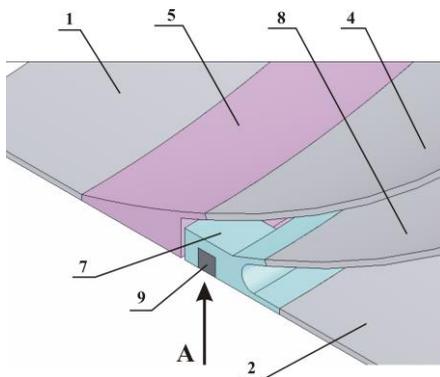
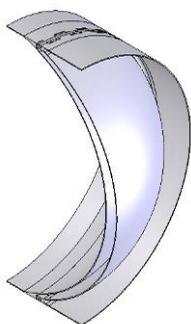


Рисунок 8 – Совмещенные днища баков без теплоизоляции (начало):
 1 – верхний бак; 2 – нижний бак; 3 – верхняя часть днища; 4 – нижняя часть
 днища; 5, 7, 11 – шпангоуты; 6 – крепеж; 8 – днище; 9 – пружинное кольцо;
 10 – герметизирующая прокладка

14



15



Вид А

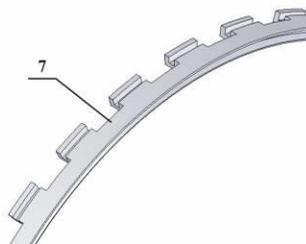
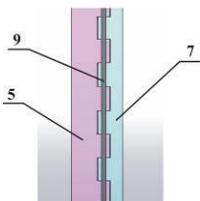


Рисунок 8 – Совмещенные днища баков без теплоизоляции (окончание)

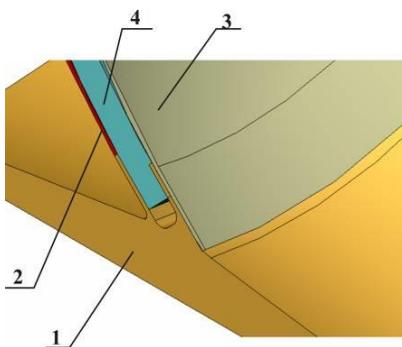
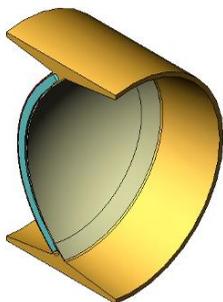
1.5 Совмещенные днища с теплоизоляцией

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

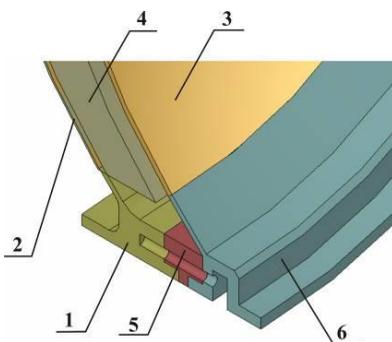
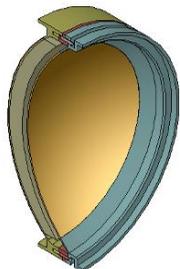
На рис. 9 представлены варианты совмещенных днищ:

- (I1) – днище сварной конструкции. Между верхней и нижней частями днища находится жесткий теплоизолятор (пенопласт, стеклосоты и т.п.), который крепится лишь к одной части днища. В этой конструкции тепло «перетекает» через шпангоут, не защищенный теплоизоляцией;
- (I2) – верхний и нижний баки изготавливаются отдельно. К одному из днищ приклеивается теплоизоляция. Соединяются оба бака через теплоизолирующее кольцо с помощью шпилек, имеющих малую теплопроводность, например, изготовленных из высоколегированных нержавеющей сталей. Усилие сжатия передается от шпангоута к шпангоуту через теплоизолирующее кольцо, имеющее достаточно высокую прочность;
- (I3) – так же, как и в конструкции (I2), баки изготавливаются отдельно, но шпангоуты соединяются между собой с помощью теплоизолирующей накладки, закрепленной на баках винтами. Эти винты не воспринимают нагрузку. Усилия сжатия передаются через торцы цилиндрических накладок.

И1



И2



И3

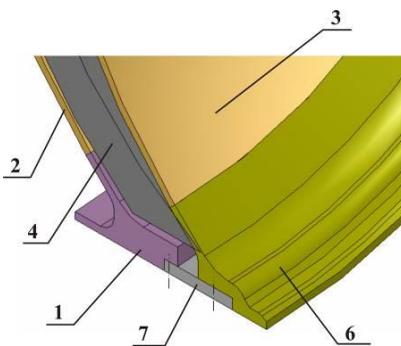


Рисунок 9 – Совмещенные днища с теплоизоляцией:

1, 6 – шангоуты; 2 – верхнее днище; 3 – нижнее днище; 4 – теплоизоляция;
5 – теплоизолирующее кольцо; 7 – накладка

1.6 Крепление несущего бака

На рис. 10 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.

Баки ракет «дышат», т.е. изменяют свои размеры при появлении внутри избыточного давления.

На рис. 11 показана схема нагружения серег 2, которые воспринимают усилия как от продольной, так и от поперечной перегрузок и в то же время не препятствуют изменению диаметра бака.

От поперечной перегрузки на одну из серег действует сила, которая появляется на опорах бака, в предположении, что бак лежит на двух опорах:

$$F_y = \frac{fn_y^3 mg(L_B - l)}{4L_B},$$

где m – масса бака (с топливом или без топлива); f – коэффициент безопасности; n_y^3 – эксплуатационная перегрузка при транспортировании или в полете; g – ускорение силы тяжести; L_B – расстояние между опорами крепления бака.

От продольной силы на серьгу действует сила

$$F_x = \frac{fnn_x^3}{n_{CEP}},$$

где n_x^3 – эксплуатационная продольная перегрузка; n_{CEP} – число серег.

Усилия F_x и F_y вызывают реакции в опорах:

$$R_1 = F_x, \quad R_2 = \frac{F_x}{2} + F_y \frac{L}{H}, \quad R_3 = \frac{F_x}{2} - F_y \frac{L}{H},$$

где L и H – размеры серьги.

Эти силы не должны вызывать поломку серьги, кронштейнов и «ушей». Не должны также появляться напряжения смятия и среза болтов, кронштейнов и серьги, превышающие допустимые значения.

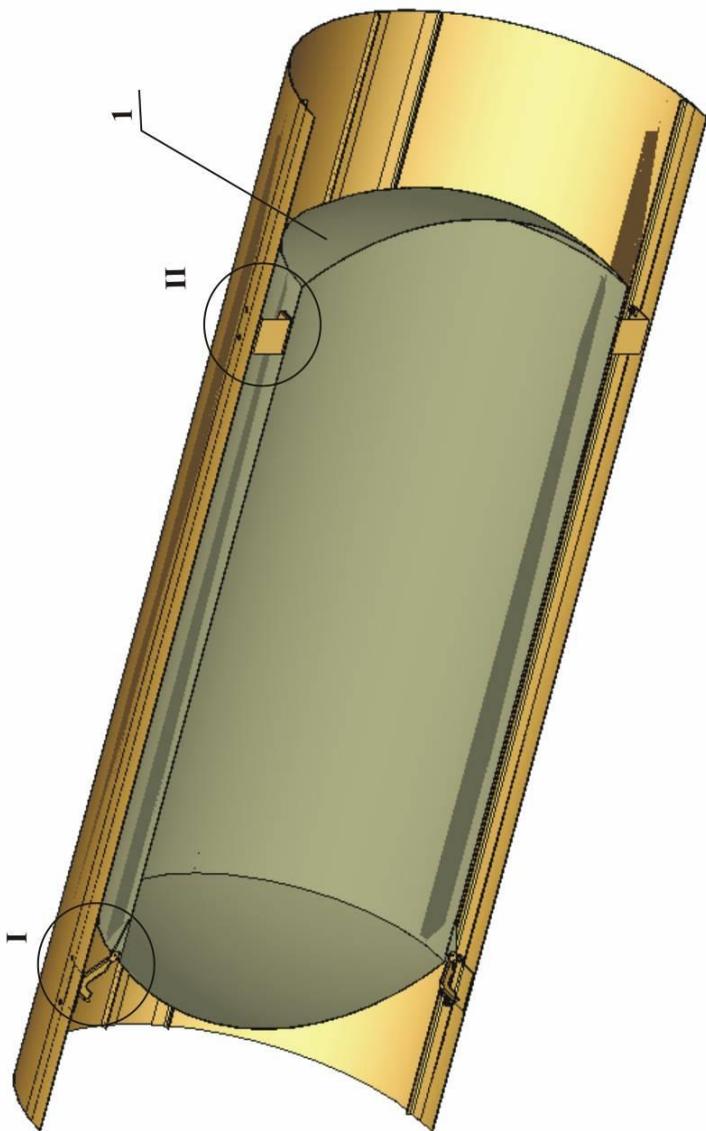


Рисунок 10 – Крепление несущего бака (начало)

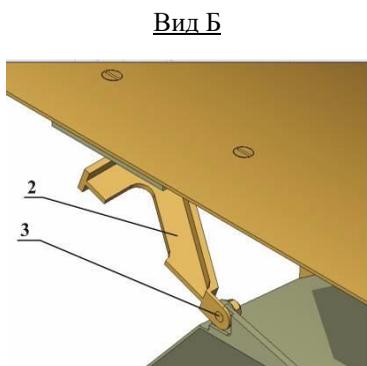
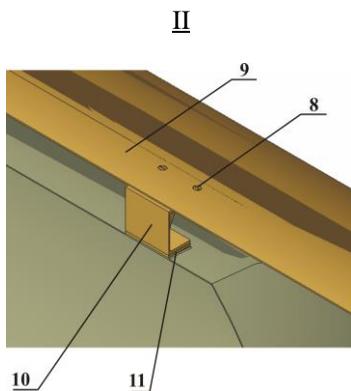
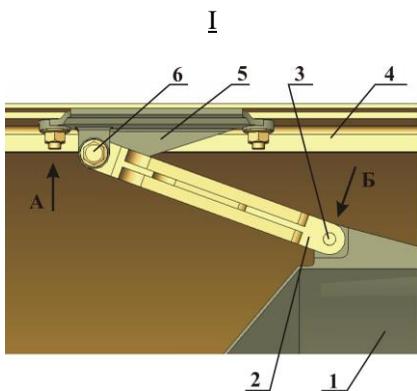
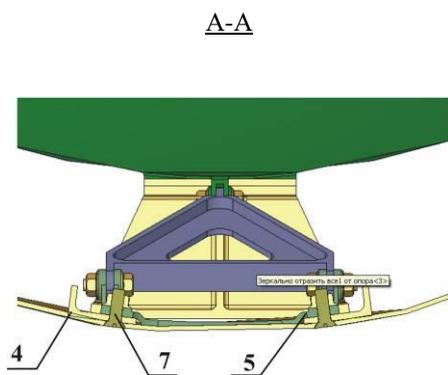
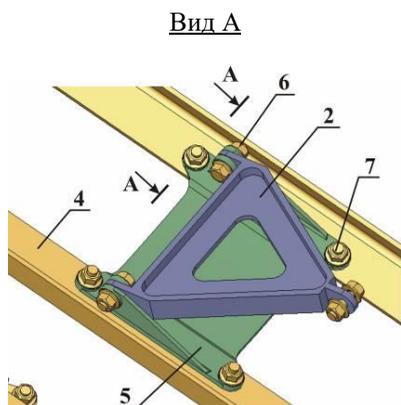


Рисунок 10 – Крепление несущего бака (окончание):
 1 – несущий бак; 2 – серьга; 3, 6, 7 – крепежи; 4 – профиль; 5 – кронштейн;
 8 – крепеж опоры; 9 – обшивка корпуса; 10 – опора; 11 – прокладка

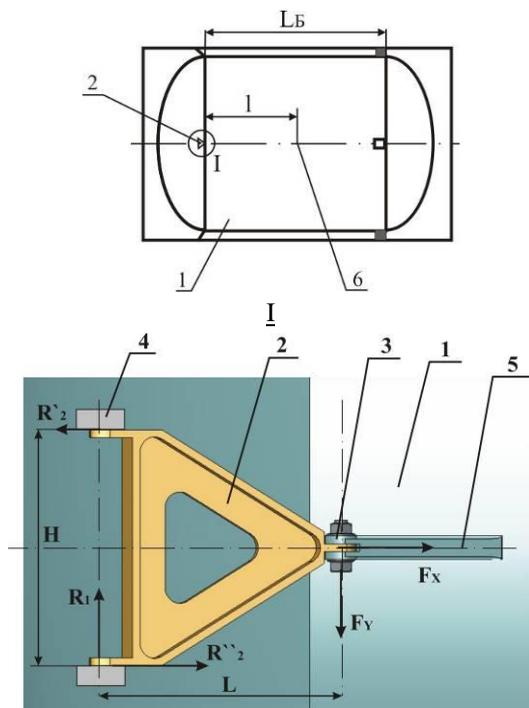


Рисунок 11 – Схема нагружения серёг:

1 – цилиндрический бак; 2 – серёга; 3 – кронштейн на баке;
4 – кронштейн на корпусе; 5 – «уши» серьги; 6 – центр масс бака

1.7 Крепление торового бака

Торовый бак при подаче внутрь него избыточного давления изменяет размеры («дышит»), поэтому крепление (рис. 12) должно обеспечить такое «дыхание», но не должно позволять перемещаться центру массы бака в поперечном направлении.

Один из вариантов такого крепления – это вариант с применением серёг 13.

Есть другие варианты крепления:

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

тает как защемленная балка, и за счет наличия зазора, необходимого для «дыхания», в нем появляются большие изгибные напряжения;

- крепление со скольжением. Такое крепление требует овальных отверстий в кронштейнах 12 и (или) 11. Все усилия, действующие на бак, из-за перегрузок воспринимаются кронштейнами на баке и на корпусе ракеты. По этим усилиям подбирают сечения кронштейнов и нормали крепежа.

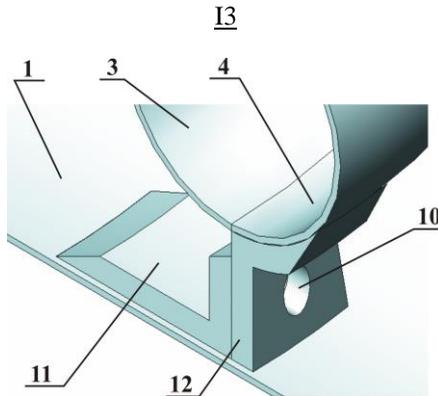
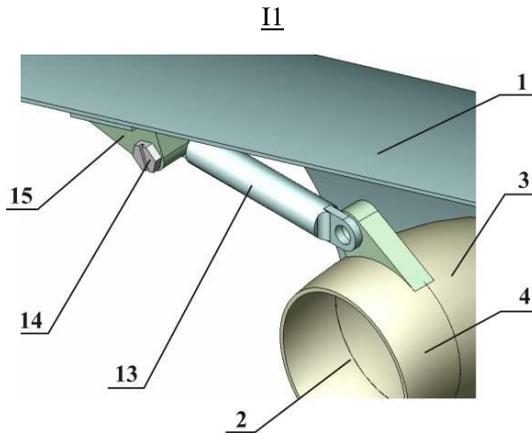
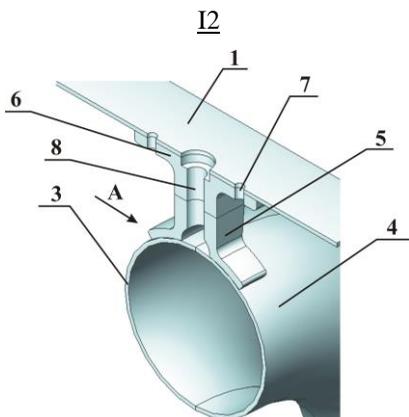


Рисунок 12 – Крепление торового бака (начало):
 1 – корпус ракеты; 2 – торовый бак; 3, 4 – полуторы; 5, 6, 11, 12, 15 – кронштейны; 7 – место под крепеж; 8 – место под штырь; 9 – профиль; 10, 14 – крепежи; 13 – серьга



Вид А (повернуто)

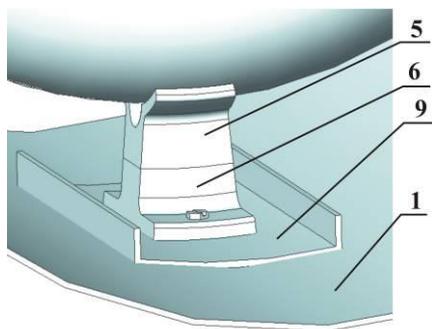


Рисунок 12 – Крепление торового бака (окончание)

1.8 Стыковые шпангоуты баков

Баки соединяются с другими отсеками и с соседними баками с помощью юбок или с помощью шпангоутов, которые одновременно служат усилением соединения обечайки и днища. Конструктивные варианты соединения между собой обечаек, днищ и шпангоутов показаны на рис. 13:

- (I1) – наиболее простой в сварке, но требуется изготовление шпангоута – кольца;
- (I2) – шпангоут облегченной конструкции с внутренним кольцевым каналом. Конструкция малой массы, но требует изготовления «ма-

каронины» профиля с внутренним каналом с последующей гибкой и сваркой профиля в кольцо;

- (I3) – кольцо-шпангоут 3 приварен к днищу;
- усиление соединения днища и обечайки набрано из деталей, отштампованных из листового материала. Такая конструкция не требует применения карусельных станков, но требует слишком много технологических операций, особенно, если детали необходимо изготавливать из частей с последующей сваркой в единое кольцо;
- (I4), (I5) – шпангоуты являются переходником и служат для усиления стыка обечайки, днища и юбки.

Особенностью конструкции вариантов (I1), (I4), (I5) 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 сварке шпангоута или его заготовки. При этом негерметичность может быть обнаружена только при проверке на герметичность бака целиком.

В варианте (I2) допустимо изготовление шпангоута из профиля с последующей сваркой в кольцо, но с проверкой герметичности сварки на стадии изготовления шпангоута путем подачи давления в полость кольца (до разделки отверстий под крепеж).

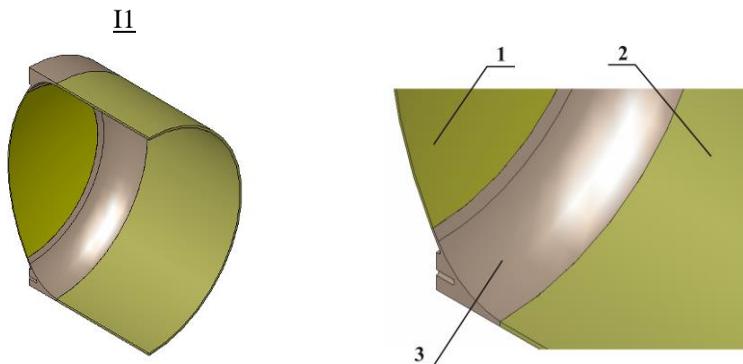
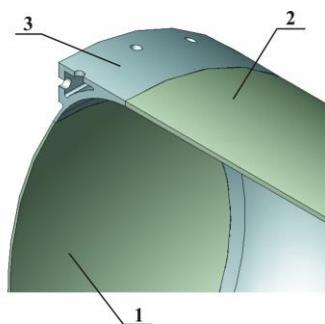
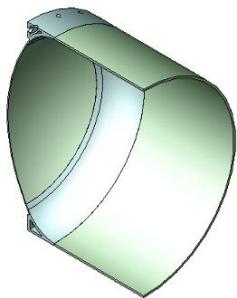
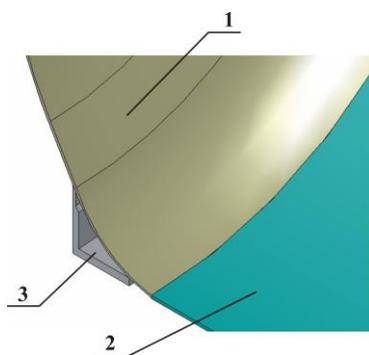
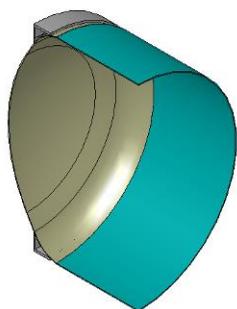


Рисунок 13 – Стыковые шпангоуты баков (начало):
1 – днище; 2 – обечайка; 3 – стыковой шпангоут

12



13



14

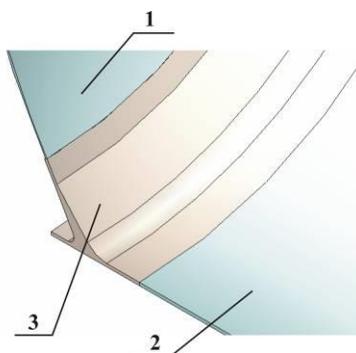
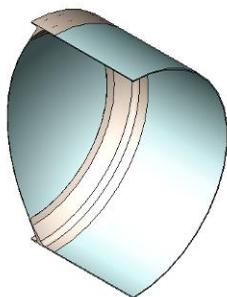


Рисунок 13 – Стыковые шпангоуты баков (продолжение)

15

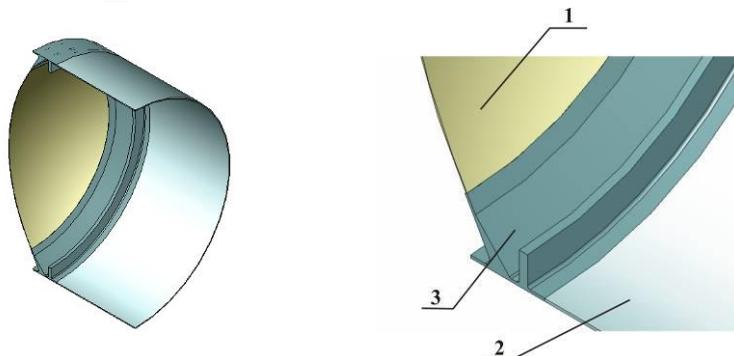


Рисунок 13 – Стыковые шпангоуты баков (окончание)

1.9 Рядовые шпангоуты баков

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, реакции опор, давление ветра и т.п.),
- увеличения собственной частоты колебаний в обечайке,
- восприятия нагрузок, появляющихся при изломе образующей бака. На рис. 14 показаны примеры конструкции рядовых шпангоутов. Они могут быть:
- отштампованы из листового материала и приварены к обечайке;
- собраны с использованием заклепок (I2) и (III);
- изготовлены из профиля и приварены к обечайке или вварены в обечайку (II2) и (III).

Если сваренный полностью бак транспортировать, заправлять и опорожнять при наличии внутреннего давления в баке, тогда рядовых шпангоутов на участках бака с прямолинейными образующими (цилиндр, конус) может и не быть, что резко уменьшит общую массу бака, но усложнит технологию изготовления бака и эксплуатацию ракеты. Такой бак имеется на ракете «Атлас» (США).

Шпангоуты, расположенные в местах излома образующих обечаяек бака (П1), (П2), (П3), воспринимают сжимающие или растягивающие усилия:

P_1, P_2 – продольные усилия в баке;

P_3 – растягивающие усилия;

P_4 – сжимающие усилия.

Условия прочности таких шпангоутов обеспечиваются выполнением неравенств:

$f \sigma^{\vartheta} \leq \sigma_B$ – если в шпангоуте растягивающие напряжения;

$|\sigma^{\vartheta}| \leq \sigma_{KP}$ – если в шпангоуте сжимающие напряжения,

где f – коэффициент безопасности; $\sigma^{\vartheta} = \frac{p^{\vartheta} D^2 \sin \alpha}{8F_{ш}}$ – напряжения в шпанго-

уте; $p^{\vartheta} = \frac{N^{\vartheta}}{D}$ – продольное погонное усилие в обечайке; D – диаметр бака в

месте излома образующей; N^{ϑ} – продольное усилие в оболочке (за счет продольной перегрузки и давления в баке); $N^{\vartheta} < 0$ – если продольное усилие вызывает сжатие; $N^{\vartheta} > 0$ – если продольное усилие вызывает растяжение; $F_{ш}$ – площадь сечения шпангоута; α – угол между образующими в месте излома (рис.15) ($\alpha < 0$, если продольные растягивающие усилия в обечайке вызывали бы в шпангоуте сжимающие силы, и $\alpha > 0$ в противном случае); σ_{KP} – критические напряжения на сжатие кольца (общие или местные).

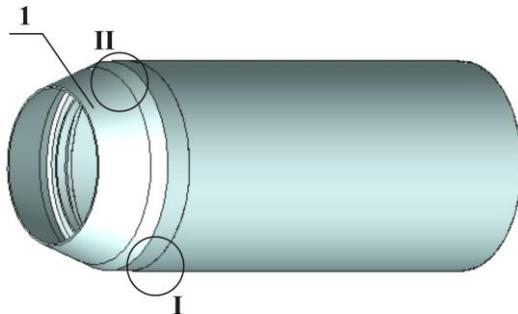


Рисунок 14 – Рядовые шпангоуты баков (начало):

1 – обечайка; 2 – кольцо обечайки; 3, 4, 7, 8 – шпангоуты;
5 – накладдка; 6 – вкладыш

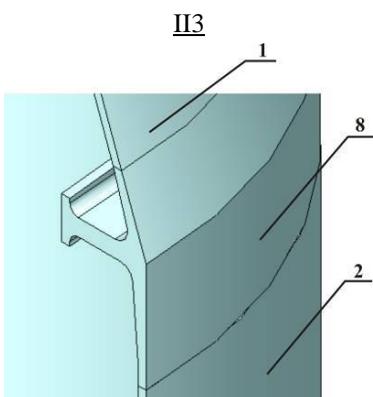
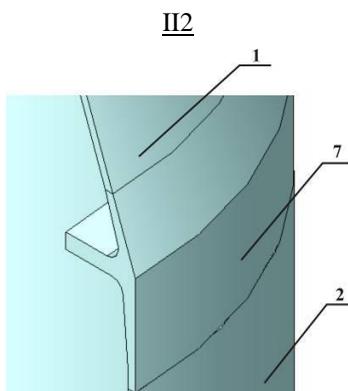
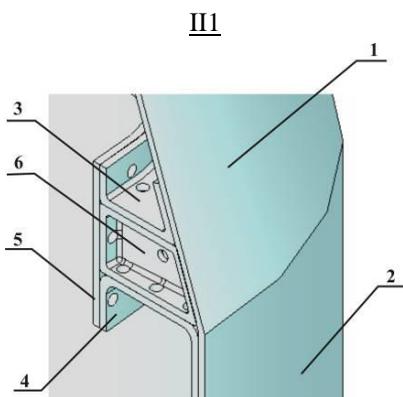
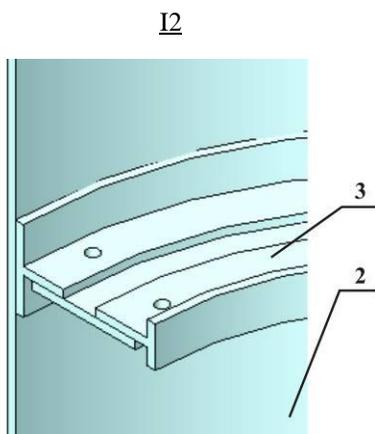
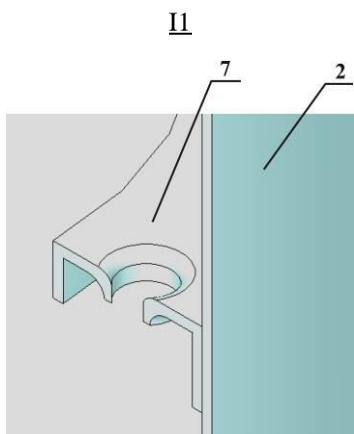


Рисунок 14 – Рядовые шпангоуты баков (окончание)

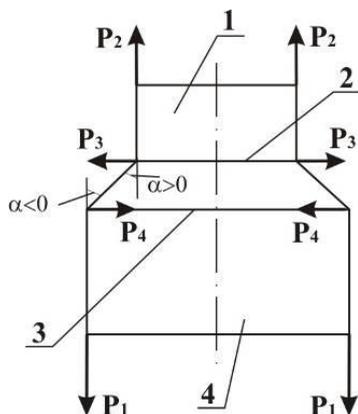


Рисунок 15 – Усилия, действующие на шпангоуты в месте излома:
1, 4 – обечайки; 2, 3 – шпангоуты

1.10 Шпангоуты сферических баков

Сферические баки, встроенные в корпус ракеты, могут иметь силовые шпангоуты 3 (рис. 16), служащие не только для крепления бака, но и для передачи усилий вдоль корпуса. Из-за разности жесткостей шпангоута и оболочки возле шпангоута появляются большие изгибные напряжения, которые могут быть сглажены за счет переменных по толщине полок профиля шпангоута (12). Для этих же целей уменьшают жесткость шпангоута путем вырезания его полки (13).

При необходимости присоединения к оболочке фермы, переходного отсека и других силовых конструкций необходимо в оболочку бака сваривать дополнительный шпангоут б. При этом следует выполнять требование к конструкции тонкостенных оболочек – теоретические контуры сферы и других оболочек должны сопрягаться по касательной, исключив, по возможности, силы, нормальные к оболочке.

Размеры сечения шпангоута выбирают в соответствии с размерами присоединяемых к нему фланцев отсеков.

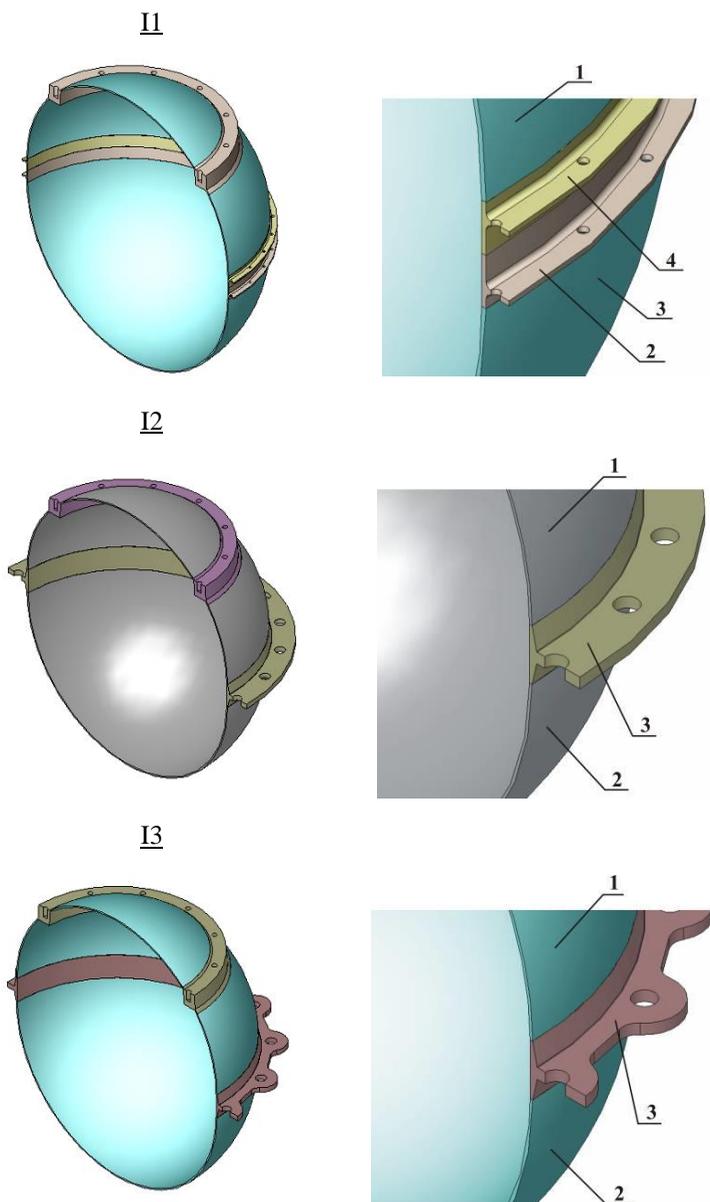


Рисунок 16 – Шпангоуты сферических баков (начало):
 1 – полусфера; 2 – сферическая обечайка; 3,4 – шпангоуты;
 5 – доньшко; 6 – дополнительный шпангоут

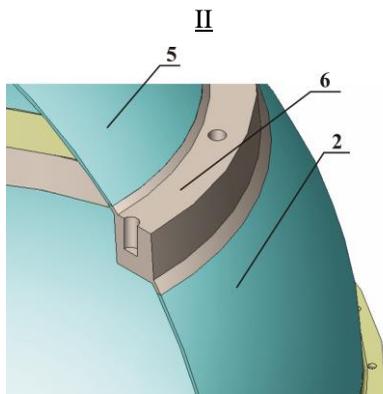


Рисунок 16 – Шпангоуты сферических баков (окончание)

1.11 Шпангоуты торových баков

Шпангоуты торových баков (рис. 17) напоминают по конструкции шпангоуты сферических баков (см. разд. 1.10). Для крепления каких-либо устройств к внутренней поверхности торového бака применяют сваренные в оболочку шпангоуты 4.

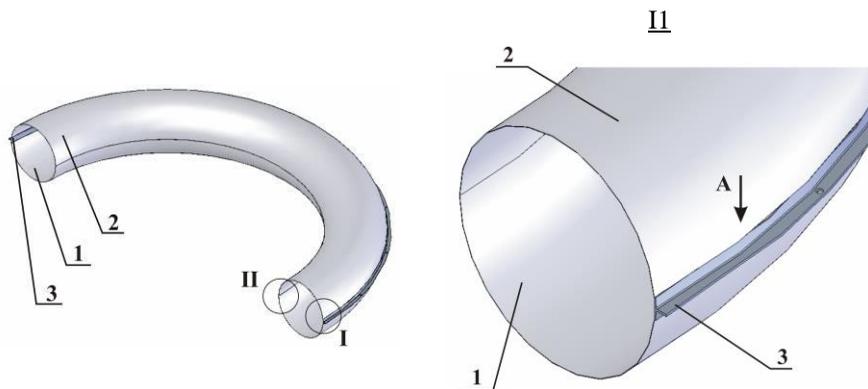
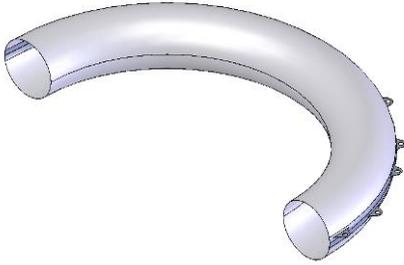


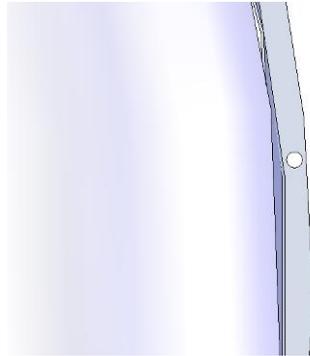
Рис. 17 – Шпангоуты торových баков (начало):

- 1, 2 – полutorовые оболочки; 3 – шпангоут; 4 – внутренний шпангоут;
5, 6 – полушпангоуты

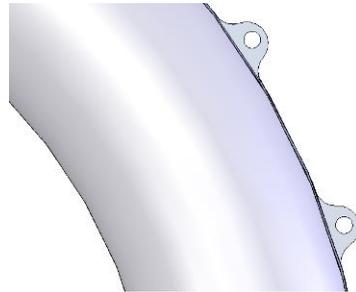
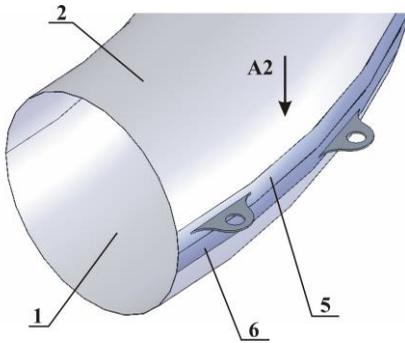
И2



Вид А1



Вид А2



II

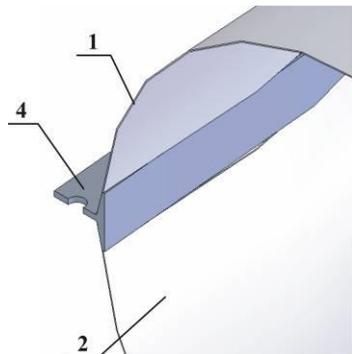


Рис. 17 – Шпангоуты торových баков (окончание)

1.12 Шпангоуты кольцевых баков

Шпангоуты кольцевых баков (рис. 18) служат для крепления бака в корпусе 6, 8, 9 и для крепления на баке 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 для нее давлением, может потерять устойчивость. Размеры сечения подкрепляющих шпангоутов выбирают из условия, что:

$$|\sigma_{ш}^3| \leq \sigma_{кр},$$

где $\sigma_{ш}^3 = \frac{p_H^3 a R}{F_{ш}}$ – нормальные напряжения в шпангоуте; p_H^3 – давление в баке; a – шаг шпангоута; R – радиус шпангоута; $F_{ш}$ – площадь сечения шпангоута; $\sigma_{кр} = \frac{EI_{ш}}{R^2 F_{ш}}$ – критические напряжения шпангоута на сжатие; E – модуль упругости; $I_{ш}$ – момент инерции сечения шпангоута.

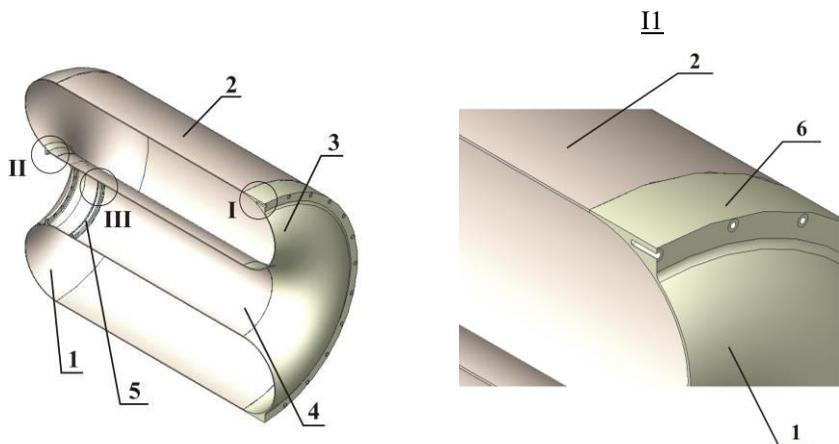


Рисунок 18 – Шпангоуты кольцевых баков (начало):

- 1 – полуторовая оболочка; 2 – внешняя оболочка; 3 – полутор;
 4 – внутренняя оболочка; 5 – подкрепляющий шпангоут; 6 – стыковой шпангоут; 7, 9 – шпангоуты; 8 – стыковой шпангоут

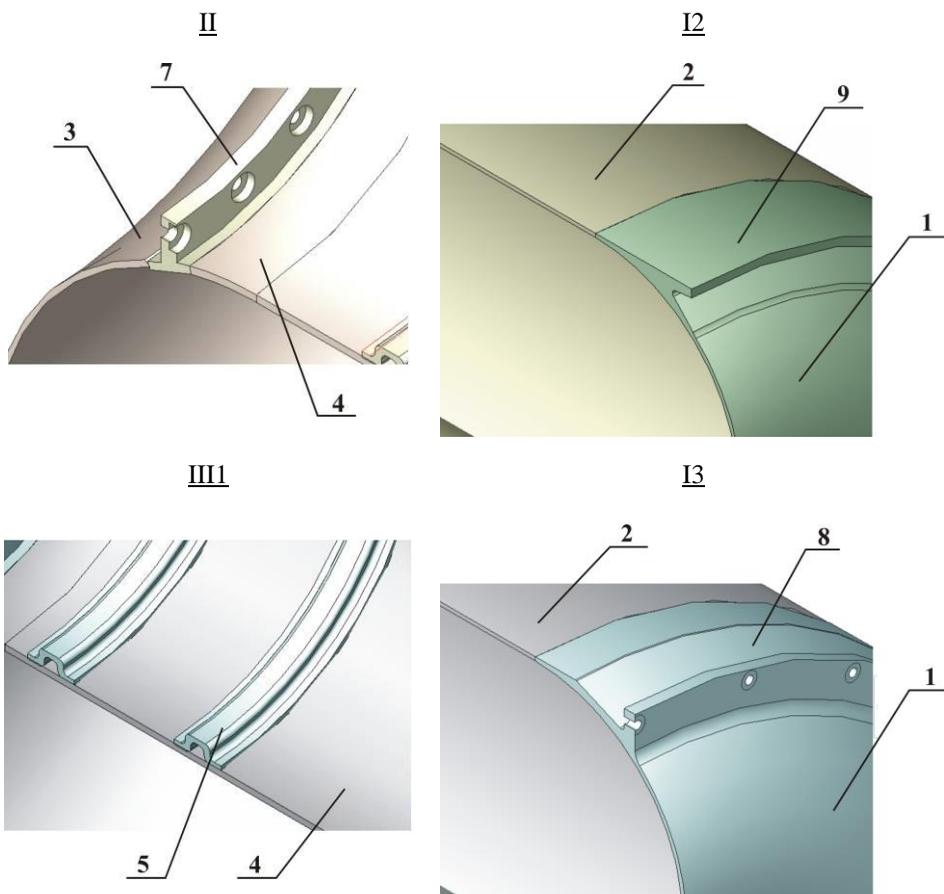


Рисунок 18 – Шпангоуты кольцевых баков (окончание)

1.13 Ячеистый бак

Ячеистый бак (рис. 19) состоит из нескольких сферических оболочек 1, 2, 3, соединенных между собой через кольцевые шпангоуты 4. Шпангоуты могут иметь диафрагму 5. Шпангоут 4 нагружается растягивающими усилиями в плоскости кольца при любых радиусах соединяемых оболочек. Условие прочности этого кольца без диафрагмы имеет вид

$$f\sigma_K < \sigma_B,$$

где $\sigma_K = \frac{p_H R_K}{4F_K} (\sqrt{R_1^2 - R_K^2} + \sqrt{R_2^2 - R_K^2})$ – напряжение растяжения в кольце;

f – коэффициент безопасности; p_H – давление в баке; R_1, R_2 – радиусы сферических оболочек; R_K – радиус соединительного кольца; F_K – площадь сечения кольца; σ_B – временное сопротивление разрыву материала бака.

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

В ячестом баке, как и в других баках, имеется заборное устройство, к которому крепится труба датчика уровня, другой конец которой вкладывается в ловитель 6. Полость в трубе датчика уровня сообщается с баком через отверстие в заглушке.

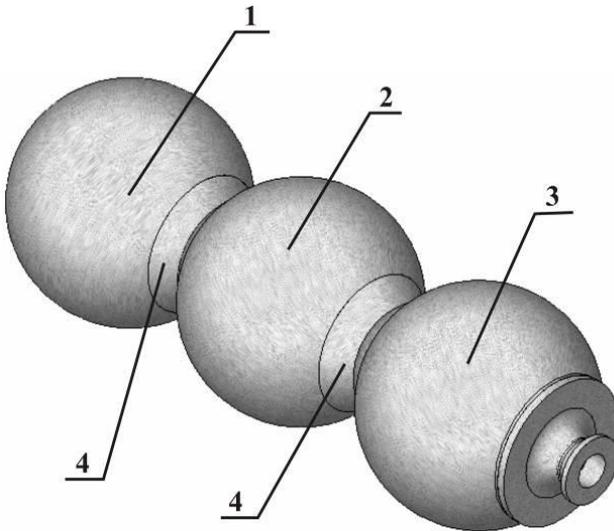


Рисунок 19 – Ячестый бак (начало):

- 1, 2, 3 – сферические оболочки; 4 – кольцевой шпангоут; 5 – диафрагма;
6 – ловитель; 7 – датчик уровня

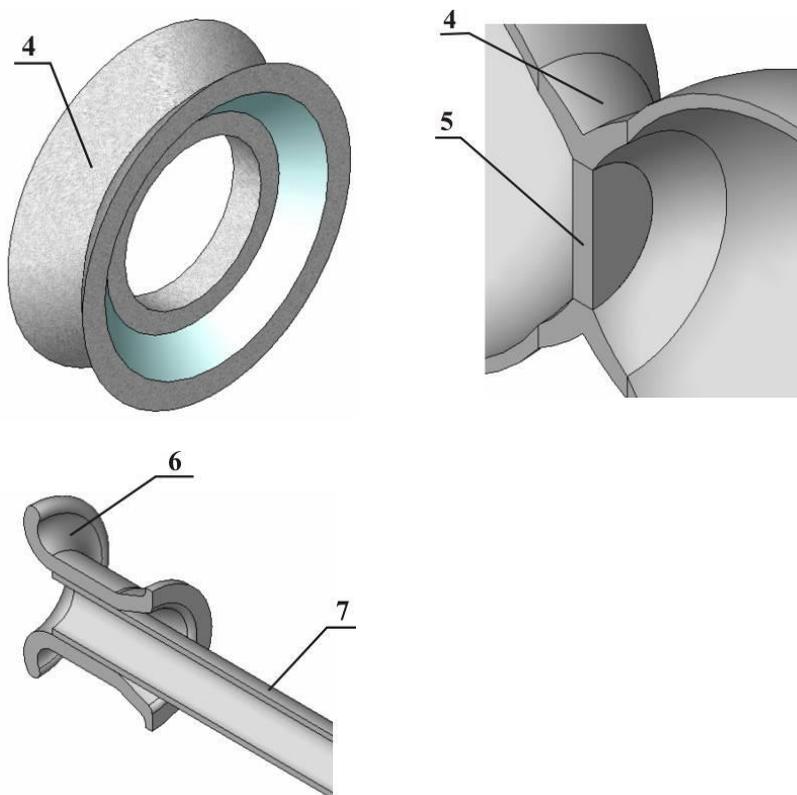


Рисунок 19 – Ячеистый бак (окончание)

1.14 Юбки баков

Передача усилий от обечайк несущих баков на соседние отсеки может идти через приваренные к бакам юбки (рис. 20). Юбка может иметь простую конструкцию – сплошной цилиндр *1*, приваренный к днищу, и более сложную – обечайка с фланцевым шпангоутом *11* или цилиндрическая обечайка *4*, переходящая в стрингерную конструкцию, состоящую из обшивки *5*, стрингеров *6* и стыкового 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.

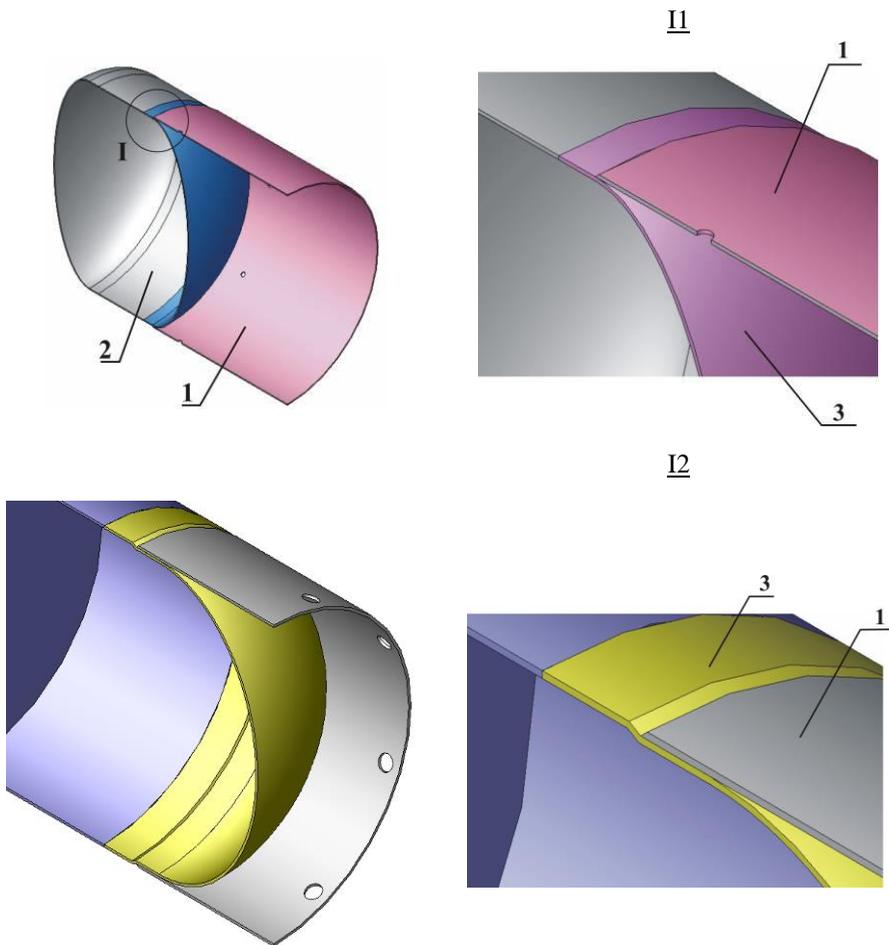
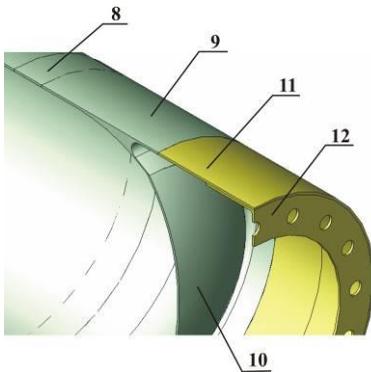
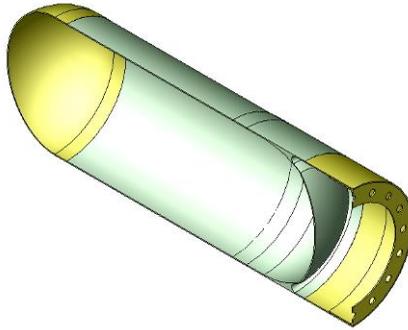


Рисунок 20 – Юбки баков (начало):
 1, 4, 12 – юбки; 2 – бак; 3 – днище бака; 5 – обшивка; 6 – стрингер;
 7 – стыковой шпангоут; 8 – обечайка; 9 – шпангоут; 10 – днище;
 11 – стыковой шпангоут

13



14

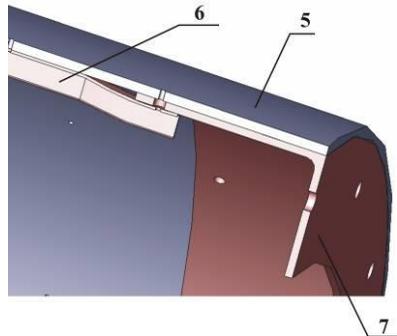
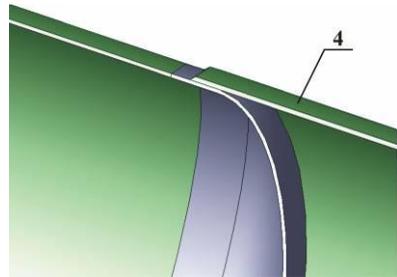
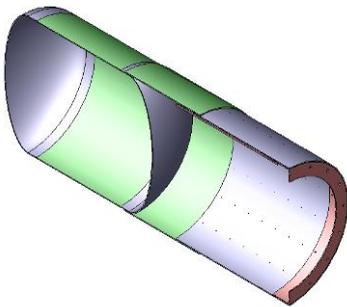


Рисунок 20 – Юбки баков (окончание)

1.15 Арматура баков

Топливные баки РН – это не только обечайки и днища, определяющие внутренний объем, но и арматура, т.е. такие устройства, которые позволяют проводить работы в баке, обеспечивать подачу топлива, демпировать нежелательные колебания жидкости, следить за наполнением и опорожнением бака и т.п.

Большинство устройств размещаются на оболочке бака, для крепления которых необходимы отверстия в этой оболочке. Такие отверстия усиливаются окантовками (фланцами) и имеют герметизацию. С точки зрения прочности желательно, чтобы отверстия под арматуру были в днище, а не в обечайке. В этом случае фланец на днище нагружается равномерно распределенными по окружности усилиями, которые вызывают во фланце только растягивающие без изгиба напряжения.

К заборным устройствам предъявляются особые требования, а именно:

- должен обеспечиваться как можно более полный забор топлива. На ракету-носитель ни при стоянке, ни на активном участке траектории большие поперечные перегрузки не действуют. Можно ожидать только колебания жидкости, поэтому желательно размещать заборные устройства в самой нижней точке бака;
- должна обеспечиваться плавность изменения сечения канала для прохождения жидкости через устройство (рис. 21). Изменение сечения потока жидкости вдоль потока должно происходить плавно от начального значения F_0 до значения сечения трубопровода F_T без поджатия струи;
- при прохождении жидкости через заборное устройство не должна образовываться воронка, особенно в конце опорожнения бака.

Предотвращение появления воронки обеспечивается постановкой стенок, перегородок, лепестков и т.п., которые не допускают вращения жидкости.

Для обеспечения синхронности опорожнения баков необходимо устройство, которые следили бы за изменением уровня бака, для чего устанавливаются датчики уровня с системами стабилизации показаний датчика и устройства для гашения колебаний жидкости в трубе датчика.

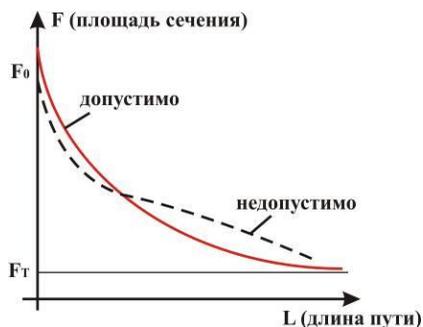


Рисунок 21 – Изменение площади заборника вдоль длины пути

1.15.1 Тоннельные трубы

Возможны два случая прокладки магистральной трубы сквозь баки:

1. Компоненты топлива в магистральной трубе имеют одинаковую температуру.
2. Температура одного из компонентов сильно отличается от температуры другого, например, температуры жидкого кислорода и керосина.

В первом случае магистральная труба, проходящая через бак, герметично сваривается в верхнее и нижнее днища. При подаче давления наддува в бак удлинение цилиндрической обечайки бака и перемещение обоих днищ могут привести к появлению больших растягивающих напряжений в трубе. Для ликвидации этого и для уменьшения напряжений в заделке трубы устанавливают компенсаторы-сильфоны, обеспечивающие свободное без усилий изменение длины трубы, находящейся в баке.

Во втором случае необходимо магистральную трубу делать отдельно от бака, теплоизолировать ее и вкладывать в процессе монтажа в тоннельную трубу (рис. 22), которая, в свою очередь, обеспечивает герметичный проход магистральной трубы сквозь бак. Размер тоннельной трубы должен обеспечить свободный монтаж магистральной трубы, имеющей на обоих концах фланцы.

В тоннельной трубе устанавливаются компенсаторы 5 и гильзы 6 для устранения перекоса компенсатора. Компенсаторы, гильзы и тоннельные трубы 3 соединяются между собой герметично за счет установки прокладок 10 из соответствующих материалов.

Показанные на рис. 22 схемы герметизации имеют свои достоинства и недостатки. Так, например, схема (III3) – наиболее простая, но возможно выдавливание прокладки внутрь и потеря герметизации. Схема (III4) – герметизация в замкнутом объеме – наиболее надежна и позволяет применять для прокладок такие материалы, которые не стойки по отношению к компонентам топлива.

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:

$$\frac{r}{D} \leq \sqrt[3]{\frac{fp_H^3 I}{3\pi E \delta_T}}$$

где D – диаметр тоннельной трубы; δ_T – толщина тоннельной трубы; I – шаг рифтов; r – радиус рифта; E – модуль упругости материала трубы; p_H^3 – давление в баке; f – коэффициент безопасности.

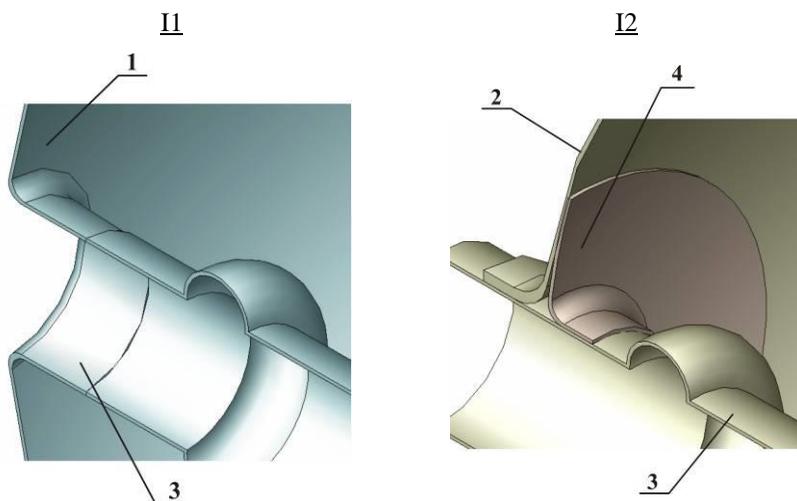


Рисунок 22 – Тоннельные трубы (начало):

- 1, 2 – днища; 3 – тоннельная труба; 4 – усиление; 5 – сиффон;
 6 – гильза; 7 – крепеж; 8 – фланец сиффона; 9 – фланец трубы;
 10 – герметизирующая прокладка

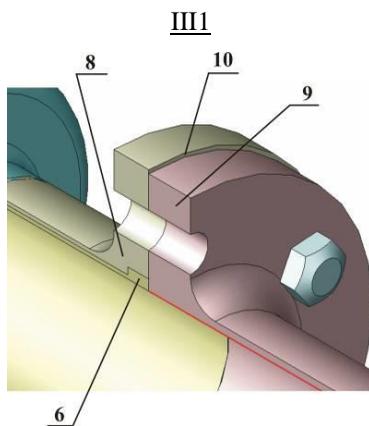
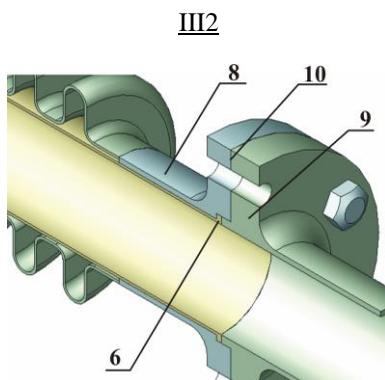
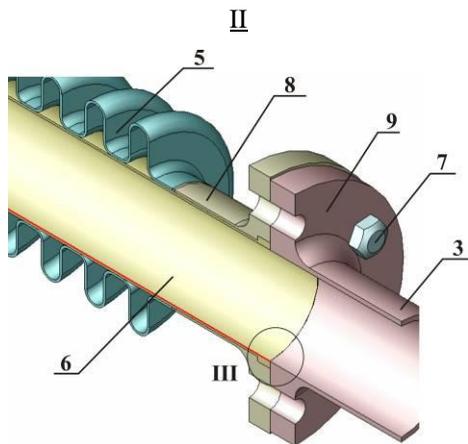


Рисунок 22 – Тоннельные трубы (продолжение)

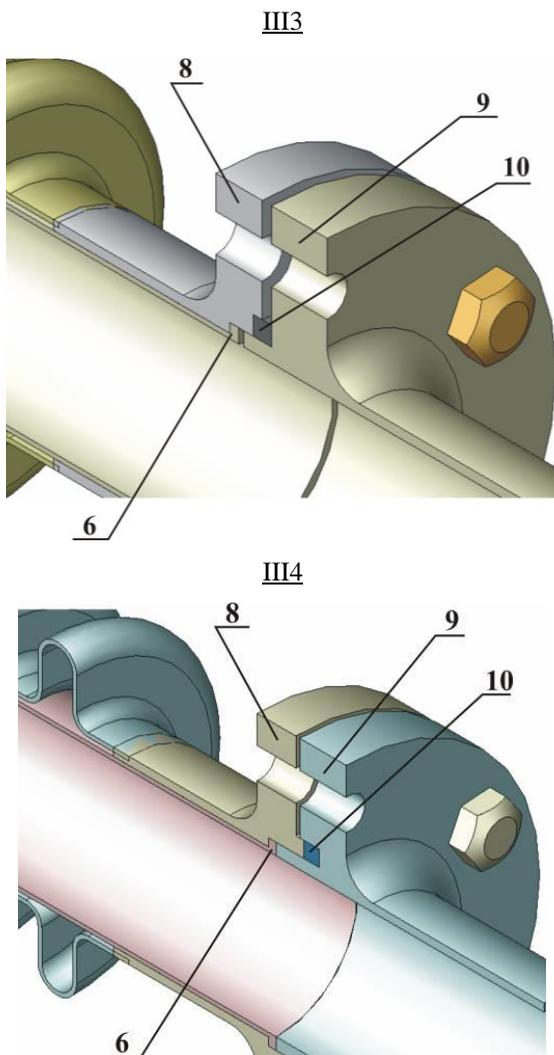


Рис. 22 – Тоннельные трубы (окончание)

1.15.2 Люки – лазы

Люки-лазы (рис. 23) необходимы для проведения работ внутри баков. Эти люки размещаются, как правило, на верхнем днище и должны иметь достаточный размер для пролаза не очень полного человека, т.е. должны

иметь диаметр в свету 400...450мм. Крышки люков 3 изготавливают сваркой из нескольких деталей или путем штамповки с последующей механической обработкой. На крышке должны быть глухие отверстия с резьбой для вворачивания рым-болтов или других устройств для снятия крышек при демонтаже. Иногда эти отверстия делают во фланце крышки.

Фланцы люков 4 необходимы для размещения крепежных шпилек и для восприятия усилий от давления в баке. Минимальное сечение фланца:

$$F_{\phi \min} = \frac{fp_H^3 R_D R_L}{2\sigma_B},$$

где f – коэффициент безопасности; p_H^3 – эксплуатационное давление наддува в баке; R_D – радиус днища; R_L – радиус люка-лаза; σ_B – временное сопротивление разрыву материала фланца.

Если недопустимо выступание крышки над днищем, например, при установке на днище теплозащитного покрытия, тогда крышку люка с фланцем делают утопленными (I2). При конструировании утопленного фланца его сечение необходимо делать несколько больше, т.к. давление в баке может выдавить крышку наружу.

Шпильки крепления крышки контрят пластинчатыми шайбами, контровочной проволокой с установкой пломбы или каким-либо другим способом.

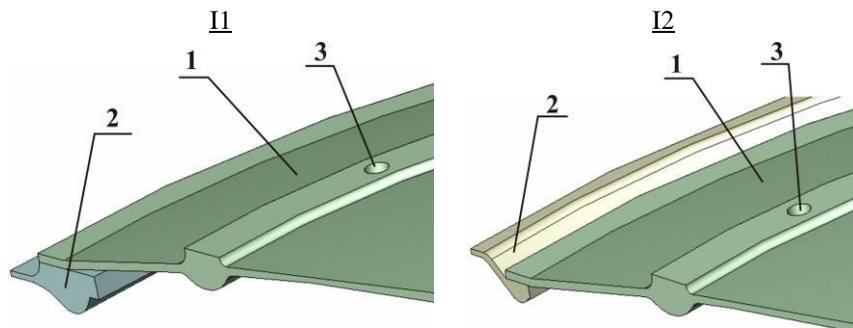


Рисунок 23 – Люки-лазы:

1 – крышка люка-лаза; 2 – фланец; 3 – отверстие под рым-болт

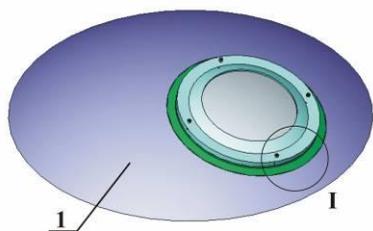
1.15.3 Герметизация люков-лазов

Крышки люков-лазов должны герметично закрывать люк. На рис. 24 показаны примеры герметизации с использованием резиновых или металлических прокладок или с заваркой крышки (I3), (I6).

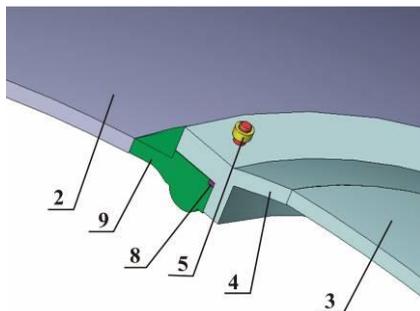
Простейшая герметизация с помощью плоской прокладки б не дает надежную герметизацию, поэтому герметизацию осуществляют установкой прокладки в замкнутом объеме и с применением выступов, врезающихся в прокладку.

На рис. 24 показаны:

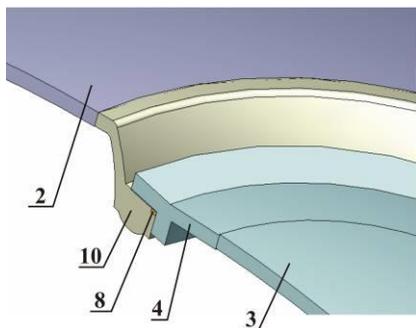
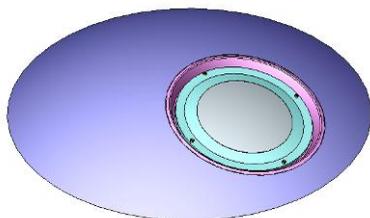
- (I1), (I2) – герметизация с помощью неметаллической прокладки;
- (I3) – герметизация осуществляется прокладкой 8, но на крышке 15 и на фланце 12 имеются цилиндрические выступы, к которым приваривается кольцо 16, обеспечивая ампульную заправку. На цилиндрических выступах имеются проточки, которые необходимы для отрезания (как у консервной банки) части выступа, что позволяет проводить съём крышки с последующей приваркой из запаса кольца 16. Допустимое число открытий крышки люка соответствует числу имеющихся на выступах проточек;
- (I4) – установка плоского кольца из резины или мягкого металла;
- (I5) – установка кольца герметизации в замкнутом объеме. Такая конструкция более надежна, чем (I1) и (I2), т.к. обжим кольца происходит без перемещения крышки относительно прокладки;
- (I6) – байонетное крепление крышки люка с герметизацией путем сварки цилиндрических выступов на крышке и фланце. Усилие от оболочки бака воспринимается только фланцем. Крышка люка воспринимает только усилие от давления в баке. Наиболее нагруженными частями крышки являются зубы, входящие в пазы фланца.



I1



I2



I3

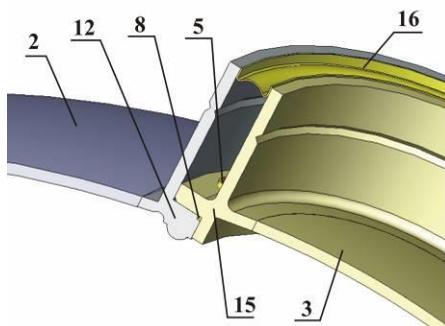
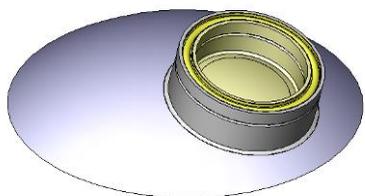


Рисунок 24 – Герметизация люков-лазов (начало):
 1, 2 – днища; 3 – крышка; 4,16 – кольца; 5 – крепеж; 6 – прокладка;
 7, 9, 10, 11, 12, 13 – фланцы; 8 – кольцо герметизации;
 14 – байонетное кольцо; 15 – кольцо с выступом

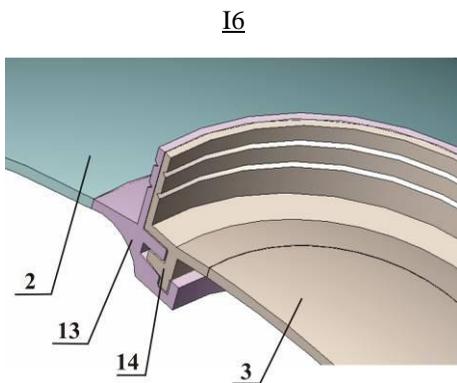
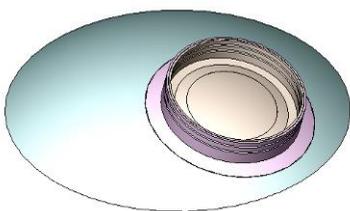
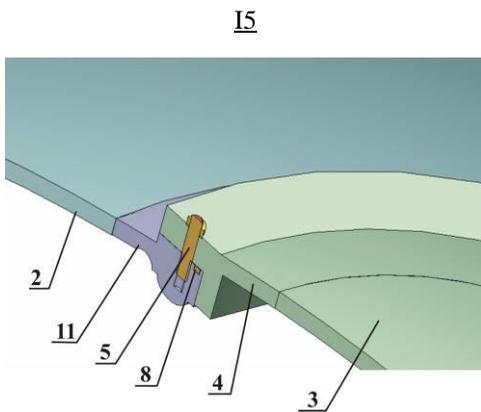
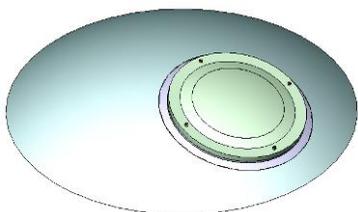
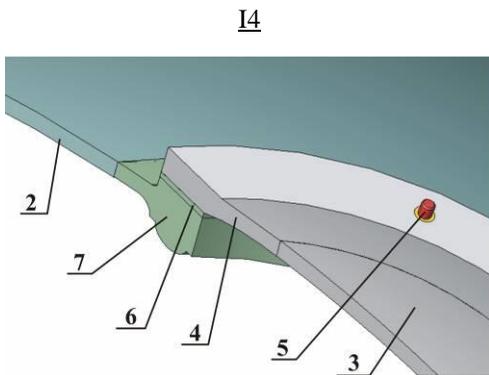
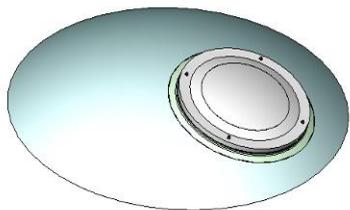


Рисунок 24 – Герметизация люков-лазов (окончание)

1.15.4 Фланцы на днищах

Для крепления различных устройств с доступом внутрь бака в днище делается отверстие, в которое вваривается фланец, являющийся усилением отверстия. Во фланце есть гнезда с резьбой для размещения шпилек крепления прибора.

На рис. 25 показаны примеры конструктивных решений по установке фланцев в днищах баков.

При креплении к фланцу ответной части болтами с гайками фланец сильно выступает над днищем и для его приварки необходимо делать отбортовки на днище и на фланце (I3). Если прибор или трубопровод крепится к фланцу с помощью шпилек, то во фланце делают глухие отверстия с резьбой. Для того чтобы прибор, установленный на фланце, не выходил за контур бака, фланец делают утопленным (I4). Возможно крепление фланца на баке с помощью сварки встык с отбортовкой как на фланце, так и на днище (I5).

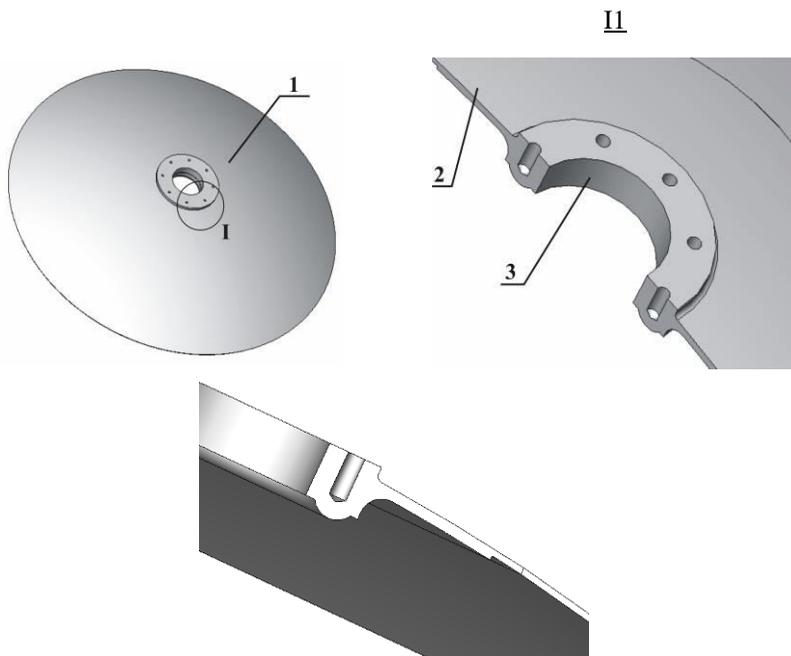
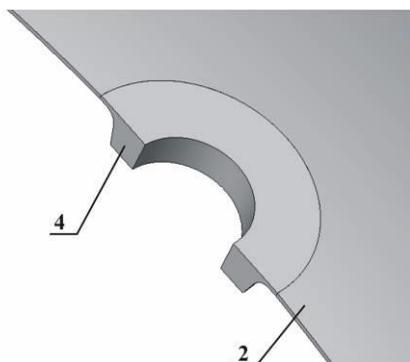
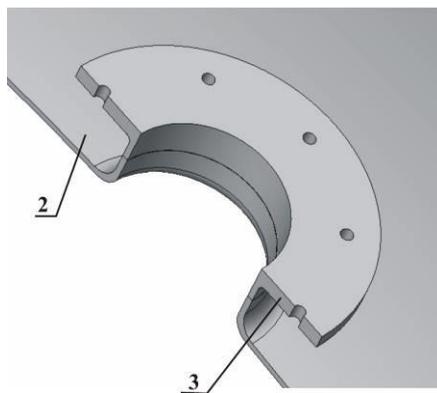


Рисунок 25 – Фланцы на днищах (начало):
1, 2 – днища; 3, 4, 5, 6 – фланцы

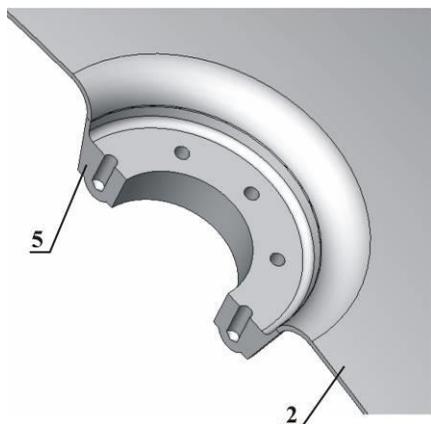
I2



I3



I4



I5

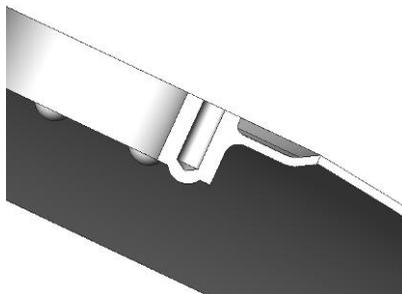
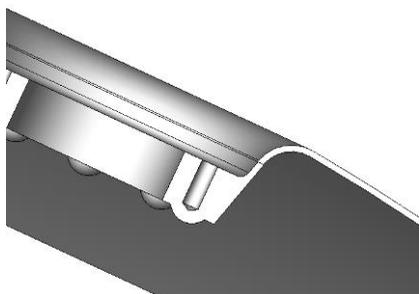
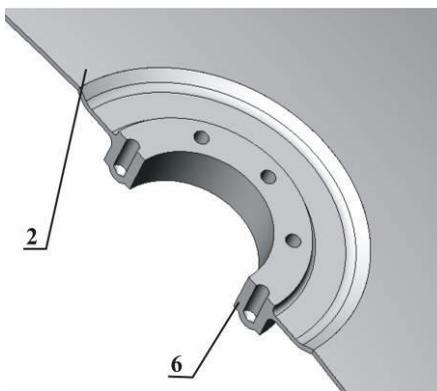


Рисунок 25 – Фланцы на днищах (окончание)

1.15.5 Донные заборные устройства с воронкогасителем

Донные заборные устройства, показанные на рис. 26, состоят из горловины 4, вкладыша 5 и стоек 6 для крепления вкладыша. Горловина обеспечивает плавный переход формы от днища к трубопроводу 9, вкладыш необходим для плавного изменения сечения потока жидкости. Стойки 6 необходимы не только для крепления вкладыша 5, но и для предотвращения вращения жидкости, которое сопутствует образующейся воронке.

Диаметр трубопровода определяется скоростью потока жидкости. Принято, что скорость жидкости должна лежать в пределах от 3 до 8 м/с.

При меньшей скорости резко возрастает диаметр, а следовательно, и масса трубопровода, при большей – возрастает сопротивление движению жидкости в трубопроводе. Вкладыш формируется так, чтобы в начале проходное сечение было в 2...3 раза больше площади сечения трубопровода, а затем это сечение уменьшается до площади сечения трубопровода. Вкладыш заканчивается наконечником 7 с малым (2...3мм) отверстием. Это отверстие необходимо для выравнивания профиля скоростей потока за счет эжекции струи жидкости.

На рис. 27 показано изменение профиля скоростей потока для случая I, когда эжекция отсутствует, и для случая II, когда она есть. На рисунке видно, что при наличии отверстия в носке центрального вкладыша выравнивание профиля скоростей наступает раньше. Это способствует уменьшению сопротивления движению жидкости в линии бак – насос. Такое отверстие также необходимо, если требуется полностью слить жидкость из бака (аварийно или при проверках).

При малом радиусе кривизны днища допустима только установка пластин 8, исключаяющих вращение жидкости.

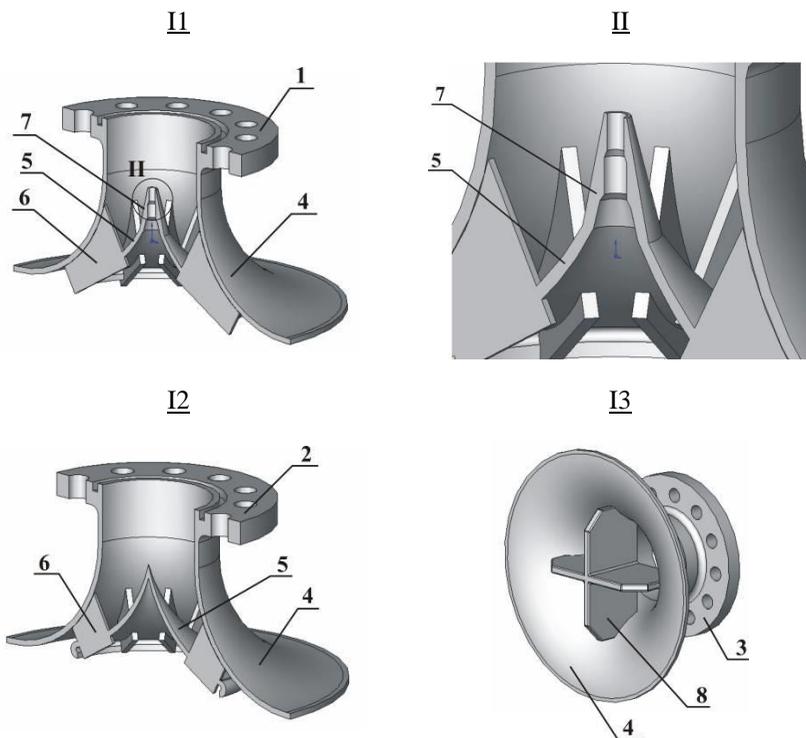


Рисунок 26 – Донные заборные устройства с воронкогасителем:
 1, 2, 3 – фланцы; 4 – горловина; 5 – вкладыш; 6 – стойка;
 7 – наконечник; 8 – пластина

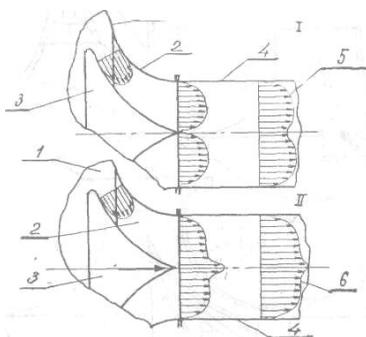


Рисунок 27 – Профили скоростей потока жидкости:
 1 – днище; 2 – патрубок; 3 – центральный вкладыш; 4 – трубопровод;
 5 – профиль скоростей без эжекции; 6 – профиль скоростей с эжекцией

1.15.6 Заборное устройство возле тоннельной трубы

При затруднении создания заборного устройства в самой нижней точке дна бака (занята тоннельной трубой) возможно размещение заборника вокруг тоннельной трубы. На рис. 28 показан пример такого размещения, когда обеспечивается полная выработка топлива, а при размещении на заборнике фланцев подключения отводящих трубопроводов возможна подача жидкости к каждой камере отдельно. Для устранения возможности появления воронки в нижней части заборника размещают пластины 9. Сильфоны или кольцевые гофры, расположенные на отводящих трубопроводах, обеспечивают удобство монтажа и свободу деформации дна.

Герметичность соединения трубопроводов и тоннельной трубы обеспечивается установкой герметизирующих прокладок. При проходе трубопровода через днище герметизация осуществляется постановкой двух герметизирующих прокладок.

Зазор между заборником и тоннельной трубой выбирается, исходя из требования обеспечения скорости движения жидкости порядка 5 м/с .

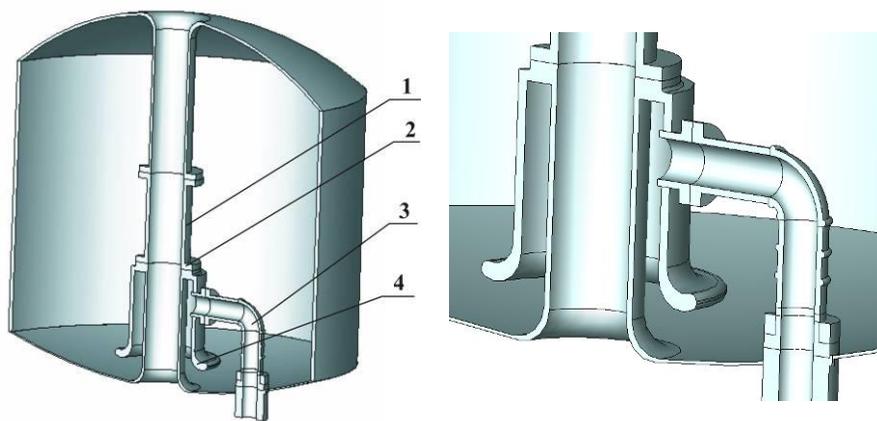


Рисунок 28 – Заборное устройство возле тоннельной трубы:
1 – тоннельная труба; 2 – фланец; 3 – патрубок с рифтами; 4 – кожух

1.15.7 Заборные устройства торовых и кольцевых баков

Заборные устройства торовых и кольцевых баков сходны с донными заборными устройствами. На рис. 29 показан пример заборного устройства несущих баков. Однако та же конструкция может быть использована при несущих торовых и кольцевых баках.

В заборнике имеются горловины 7, в которых размещены решетки 8 для предотвращения появления в жидкости вращения с образованием воронки. Основная трудность конструирования – это необходимость размещения горловины в самой нижней точке бака. С этой целью бак крепят так, чтобы он был наклонен на $3...5^\circ$ от нормального положения, или снизу к торовой части бака приваривают сужающиеся каналы 10, которые сообщаются с баком через перфорацию в нижнем полуторе. При этом бак подвешивается без какого-либо наклона.

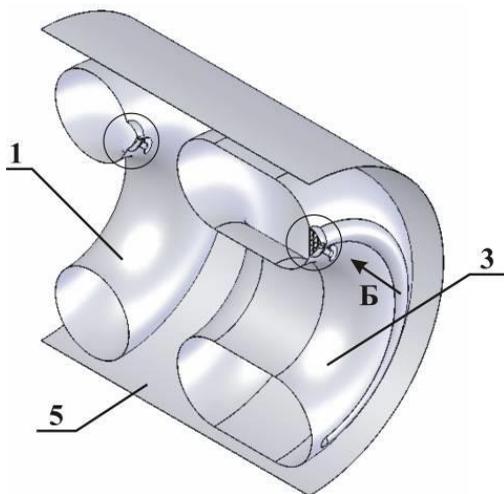


Рисунок 29 – Заборные устройства торовых и кольцевых баков (начало):

- 1, 2 – торовые баки; 3, 4 – кольцевые баки; 5 – корпус ракеты; 6, 9 – фланцы;
7, 11 – горловины; 8 – решетка; 10 – желоб

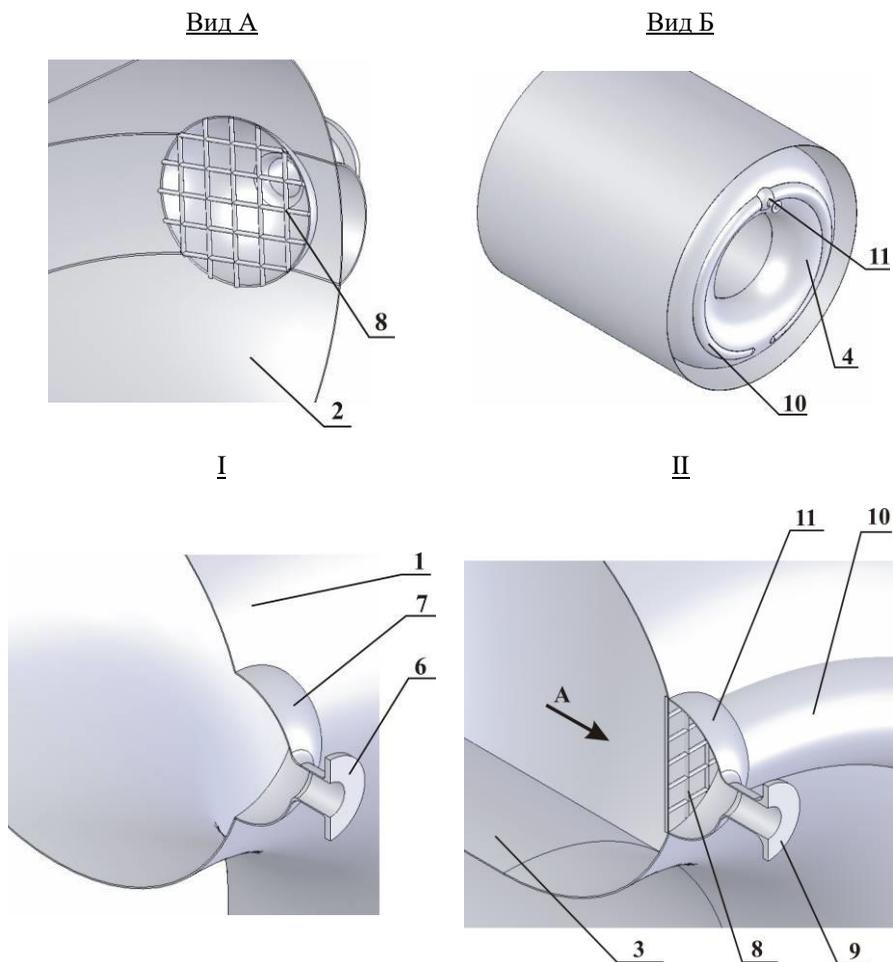


Рисунок 29 – Заборные устройства торовых и кольцевых баков (окончание)

1.15.8 Силовые элементы кольцевого бака

На рис. 30 показан пример включения в силовую работу конструкции несущего кольцевого бака. В этом примере двигатель закреплен на нижнем внутреннем шпангоуте 12, и тяга передается на внутреннюю обечайку 3. Усилие от тяги уменьшает растягивающие продольные усилия во внутренней обечайке. Это усилие передается на диагональные элементы – стержни

5 или конусную оболочку с гофром 7. При этом нагружается распорными усилиями верхний внутренний шпангоут 11. Диагональные элементы через шпангоут 6 передают усилия на внешнюю обечайку 2, уменьшая в ней продольные растягивающие напряжения, появляющиеся от наличия давления в баке, и вызывают сжимающие усилия на шпангоут 6.

Такая схема в силовом отношении равносильна тому, что тяга двигателя как бы приложена непосредственно к нижнему наружному шпангоуту 6. К этому же шпангоуту могут крепиться переходный отсек, рамы с приборами и т.п.

Тяги или конус нагружены растягивающими усилиями:

$$F_T = \frac{T}{\cos \varphi},$$

где T – тяга двигателя; φ – угол установки диагональных элементов.

Если двигатель не работает, то в диагональных элементах могут возникнуть сжимающие усилия:

$$F_{СЖ} = \frac{m_D g n_{x\max}}{\cos \varphi},$$

где m_D – масса двигателя; g – ускорение силы тяжести; $n_{x\max}$ – максимальная продольная перегрузка.

Подбор сечений диагональных элементов ведется, исходя из необходимости выполнения неравенств:

$$\sigma_T^T \leq \sigma_B^T, \sigma_{СЖ}^T \leq \sigma_{КР}^T, \sigma_T^K \leq \sigma_B^K, \sigma_{СЖ}^K \leq \sigma_{КР}^K,$$

где $\sigma_T^T = \frac{F_T}{NF_O}$ – напряжение растяжения в тяге;

N – число тяг;

F_O – площадь сечения трубы тяги;

σ_B^T – временное сопротивление разрыву материала трубы тяги;

$\sigma_{СЖ}^T = \frac{F_{СЖ}}{NF_O}$ – сжимающие напряжения в трубе тяги;

$\sigma_{КР}^T = \frac{\pi^2 E I}{I^2 F_O}$ – критические напряжения сжатия трубы;

E – модуль упругости материала трубы;

I – момент инерции сечения трубы;

l – длина тяги;

$$\sigma_T^K = \frac{F_T}{\pi D_B \delta} \text{ – напряжение растяжения в конусе;}$$

D_B – внутренний диаметр кольцевого бака;

δ – толщина оболочки конуса;

σ_{B}^K – временное сопротивление разрыву материала конуса;

$$\sigma_{CK}^K = \frac{F_{CK}}{\pi D_{CP} \delta} \text{ – напряжения сжатия в конусе;}$$

D_{CP} – средний диаметр кольцевого бака;

σ_{KP}^K – критические напряжения в оболочке конуса на сжатие (с учетом наличия на оболочке гофра или другого усиления).

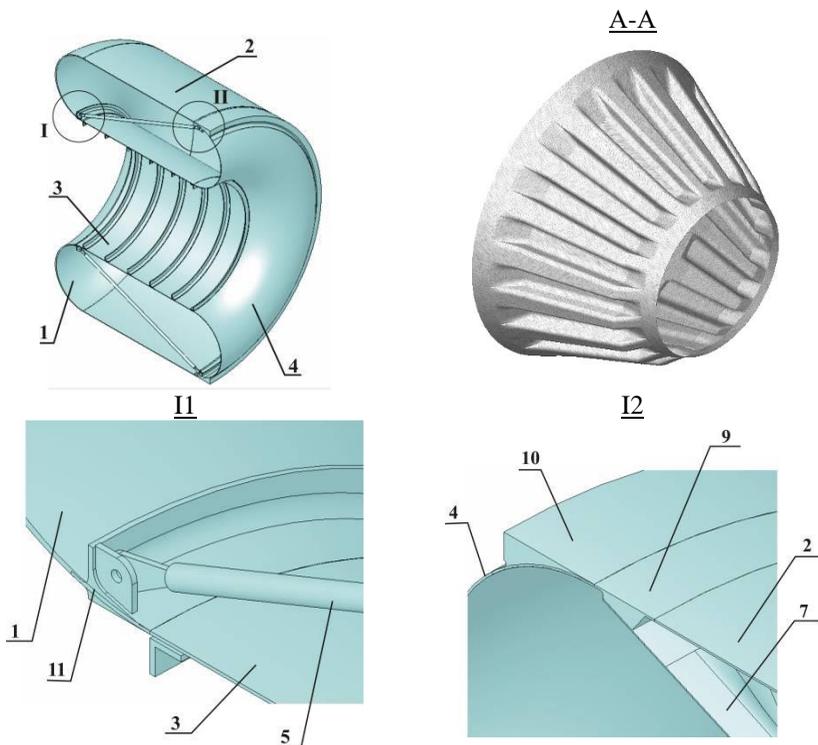


Рисунок 30 – Силовые элементы кольцевого бака (начало):

- 1 – верхний полутор; 2 – наружная обечайка; 3 – внутренняя обечайка;
- 4 – нижний полутор; 5 – тяга; 6 – стыковой шпангоут; 7 – конус;
- 8, 9, 11 – шпангоуты; 10 – стыковой шпангоут

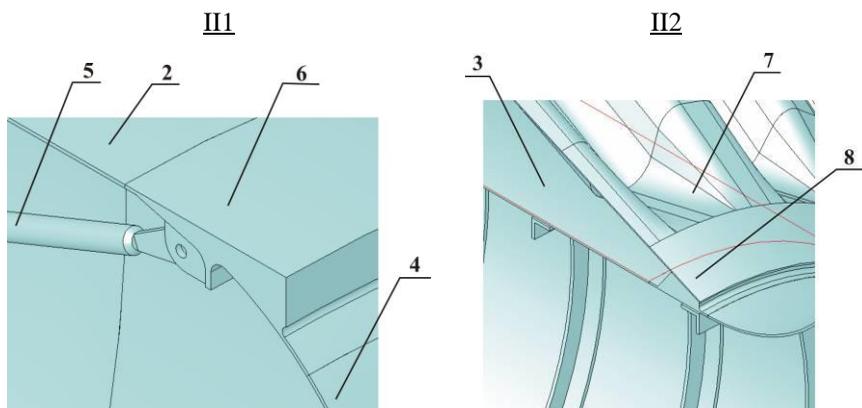
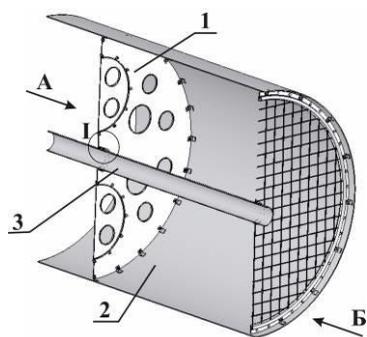


Рисунок 30 – Силовые элементы кольцевого бака (окончание)

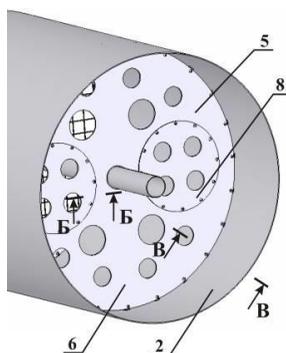
1.15.9 Диафрагмы и сетки

Для устранения колебания жидкости в баке устанавливаются диафрагмы (рис. 31). Замечено, что наибольшие возмущающие силы, приводящие к колебаниям жидкости, появляются в конце работы двигателя первой ступени, когда топлива остается немного, а на ракету действуют большие аэродинамические силы. Поэтому диафрагмы 5 в баках первой ступени устанавливают в нижней части бака, а в баках второй ступени – в верхней части бака. Диафрагмы состоят из нескольких пластин с отверстиями и крепятся к обечайке 2.

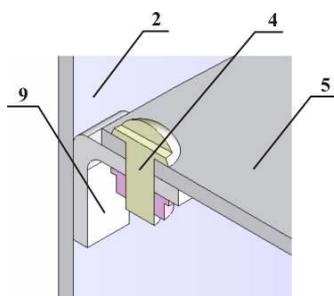
Для пролаза через диафрагму устанавливают на анкерных гайках 7 крышки 8. Устанавливаемые в нижней части бака сетки могут играть двойную роль: во-первых, служить демпфером колебаний жидкости, во-вторых, если на тоннельной трубе будут появляться кристаллики топлива или влаги, то сетка предохранит попадание этих кристалликов в трубопровод. Сетка крепится с помощью кольца 12, прижимов 11 и заклепок 14.



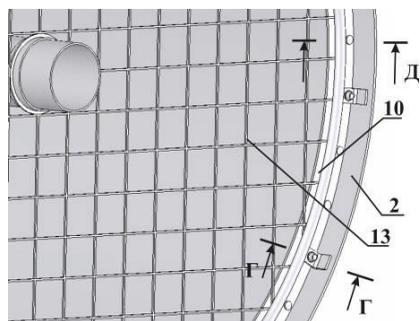
Вид А



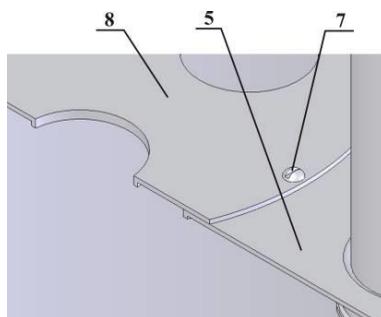
В-В



Вид Б



Б-Б



Г-Г

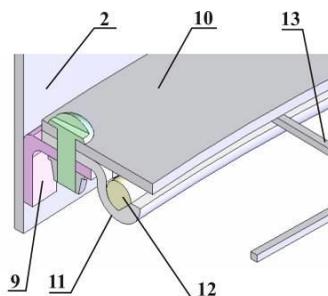


Рисунок 31 – Диафрагмы и сетки (начало):
 1 – диафрагма; 2 – обечайка; 3 – датчик уровня жидкости; 4, 7 – крепежи;
 5, 6 – пластины; 8 – крышка; 9 – кронштейн; 10, 12 – кольца;
 11 – прижим; 13 – сетка; 14 – заклепка; 15 – хомут

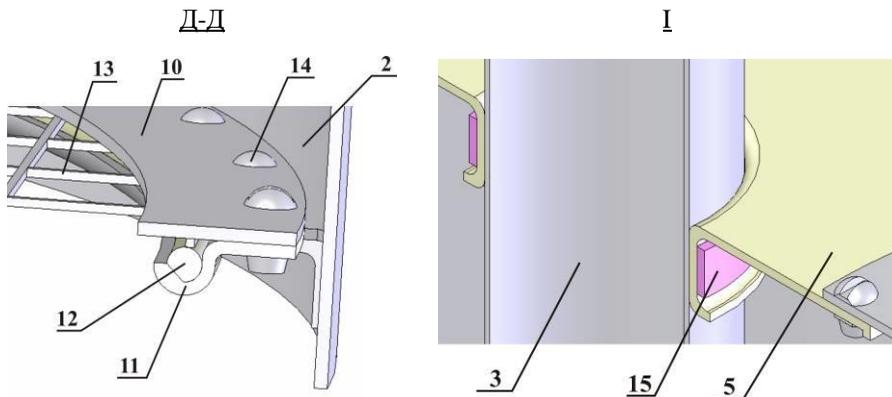


Рисунок 31 – Диафрагмы и сетки (окончание)

1.15.10 Успокоительные стенки и шпангоуты

При больших габаритах ракеты ставить диафрагмы на весь диаметр бака нецелесообразно. Жидкость достаточно хорошо успокаивается, если демпфировать ее по краям у обечаек. Для этой цели ставят широкие шпангоуты со стенками (рис. 32). Для подкрепления шпангоута используют стержни 4, прикрепленные к полкам шпангоута.

Для увеличения момента инерции масс относительно продольной оси и для устранения вращения жидкости перед входом в трубопроводы у нижнего днища устанавливают набор перекрестных пластин-решеток, которые состоят из стенок 3 и профилей 11, 12, 16.

Размеры полок шпангоутов 5, сечений труб 4 и размеры крепежа выбирают не из условий полета, а из условий сборки.

Предполагается, что конструкция должна выдержать расчетное усилие, приложенное к стержню и шпангоуту, когда на край шпангоута опирается рабочий-сборщик:

$$P = f m_p g n^3_X,$$

где f – коэффициент безопасности; $m_p=100$ – масса рабочего; g – ускорение силы тяжести; n^3_X – перегрузка.

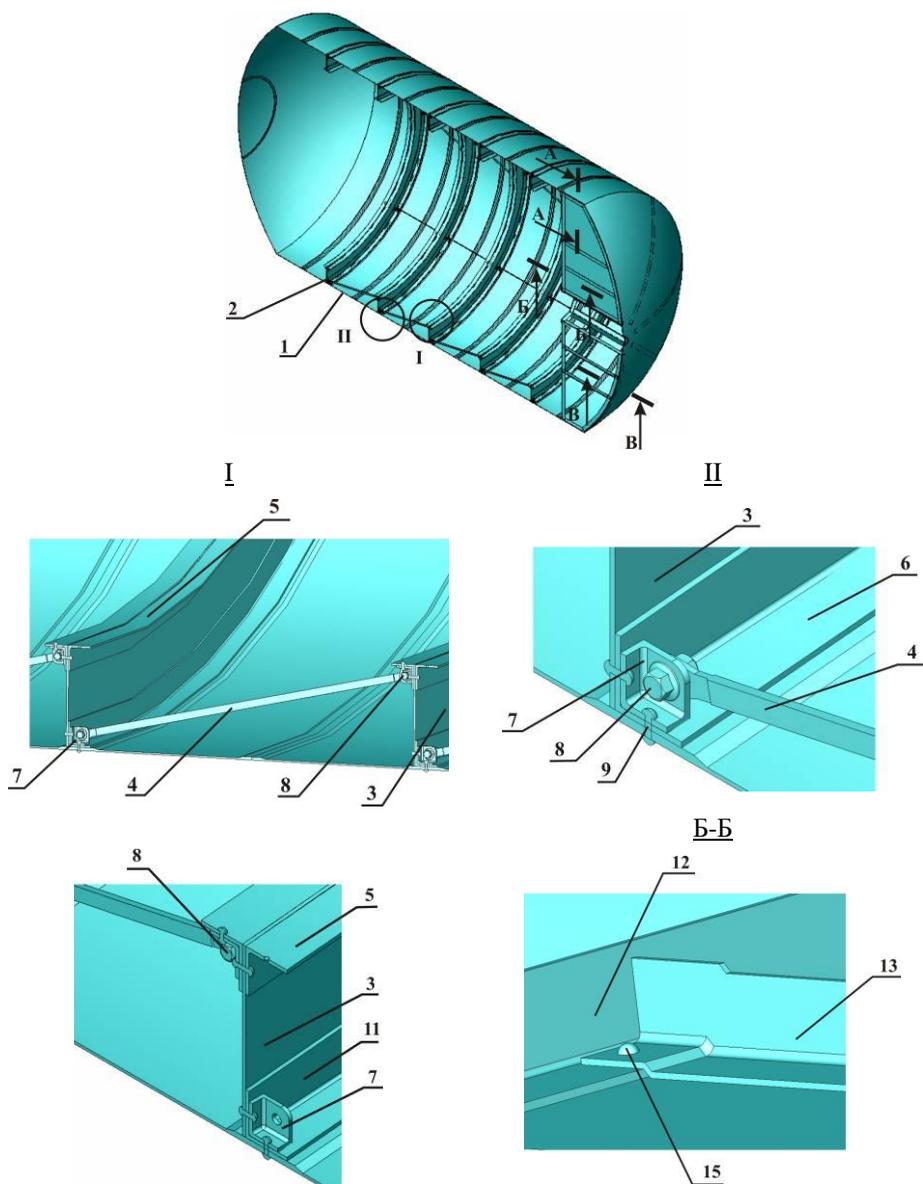


Рисунок 32 – Успокоительные стенки и шпангоуты (начало):
 1 – обечайка бака; 2 – шпангоут; 3 – стенка; 4 – подкос;
 5 – профиль шпангоута; 6, 11, 12, 13, 14, 16 – профили; 7 – кронштейн;
 8 – крепеж; 9, 15 – заклепки; 10 – стойка

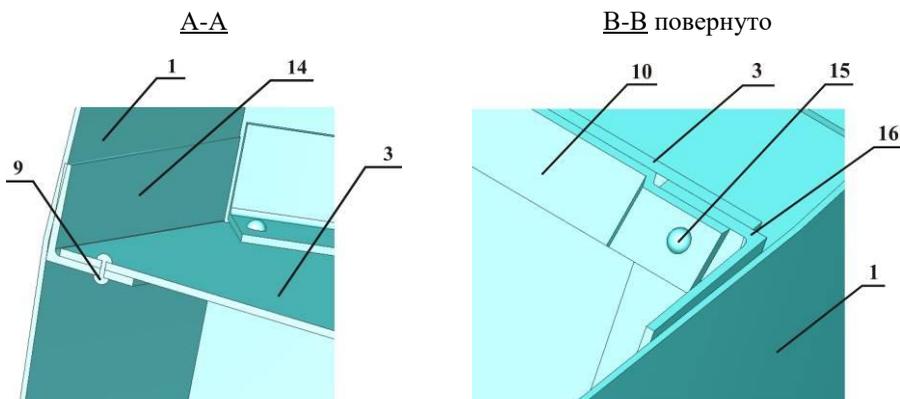


Рисунок 32 – Успокоительные стенки и шпангоуты (окончание)

1.15.11 Крепление датчика уровня

На рис. 33 показано крепление датчика уровня, который состоит из трубы с размещенными внутри нее измерительными устройствами (конденсаторы, резисторы и пр.). Он, как правило, устанавливается в центре бака. Жидкость попадает внутрь трубы снизу через трубки-«усы», входные отверстия которых расположены диаметрально противоположно относительно друг друга. Такая конструкция осредняет уровень жидкости, измеряемый датчиком, и уменьшает колебания жидкости в трубе. «Усы» крепятся в кронштейнах на днище с помощью хомутов 14.

Труба датчика крепится в нижней части на сферической опоре 9 для компенсации неточности в установке кронштейна 10. В средней и верхней частях труба крепится к обечайке бака с помощью профилей-расчалок 16. Число расчалок не должно быть более двух, т.к. в противном случае расчалки будут воспринимать деформации обечайки бака при расширении из-за давления в баке.

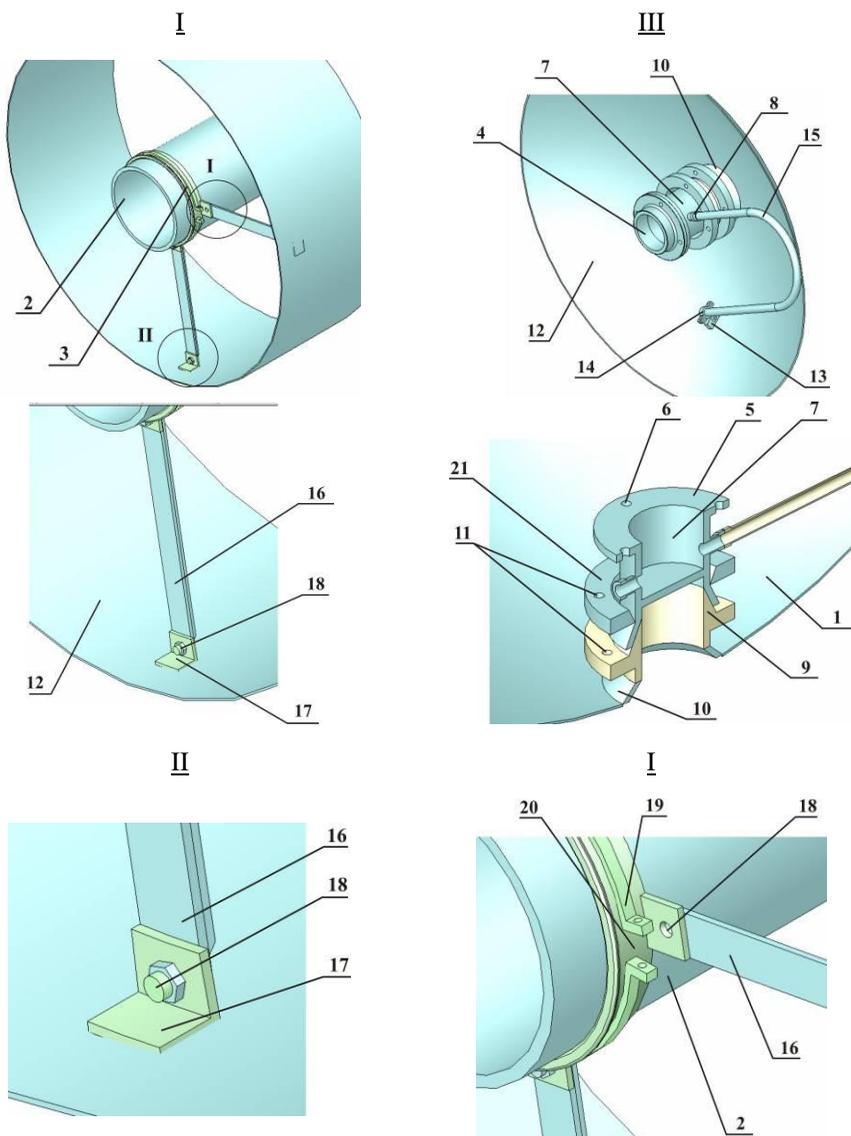


Рисунок 33 – Крепление датчика уровня (начало):

- 1, 12 – днища; 2 – датчик уровня топлива; 3 – крепление; 4 – труба датчика;
 5, 9 – фланцы; 6, 11 – отверстия под крепеж; 7 – ступица; 8 – гайка;
 10, 13, 17 – кронштейны; 14, 19 – хомуты; 15 – «ус»; 16 – профиль;
 18 – крепеж; 20, 21 – кольца

↓ повернуто

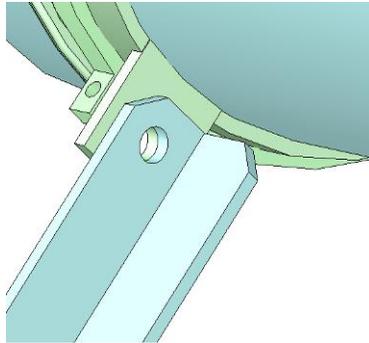


Рисунок 33 – Крепление датчика уровня (окончание)

1.15.12 Крепление датчика наполнения

На рис. 34 показано крепление датчика наполнения, который служит для указания верхнего уровня жидкости в баке и для управления насосами, подающими жидкость в бак (переключение на другой режим, выключение насоса и пр.).

Он напоминает датчик уровня. В нем также имеются измерительные устройства. Датчик наполнения крепится к верхнему днищу или на верхнем конце датчика уровня.

На днище датчик крепится либо в утопленном положении, либо нормальным образом, но необходимо, чтобы труба датчика была параллельна оси бака.

На трубе датчика уровня датчик наполнения крепится с помощью хомутов.

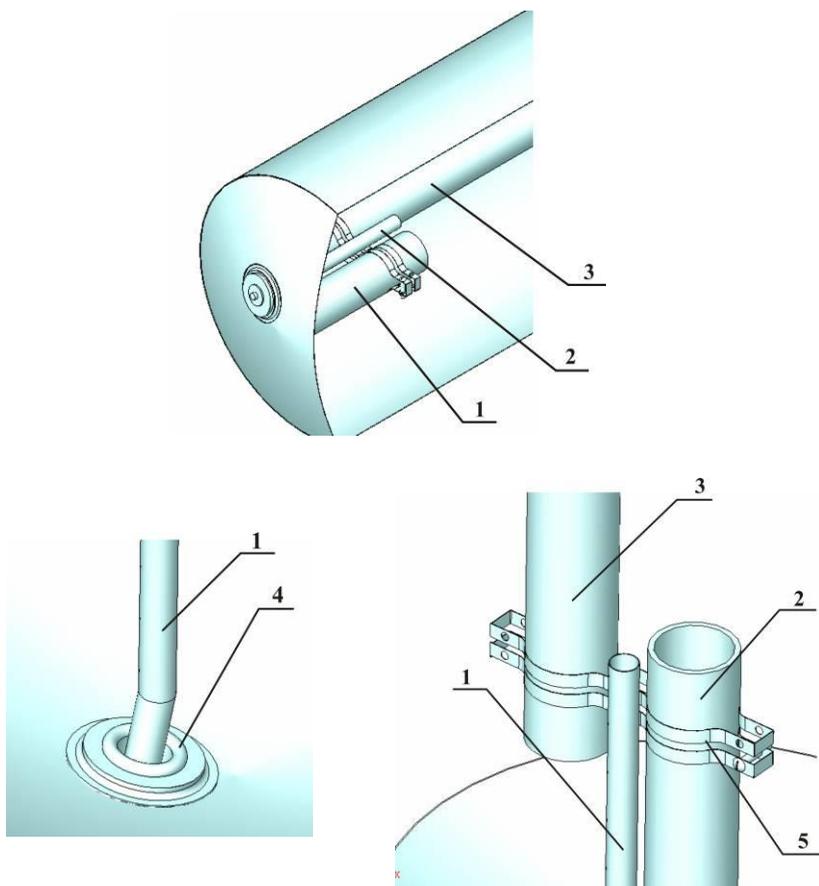


Рисунок 34 – Крепление датчика наполнения:
 1, 2 – датчики наполнения; 3 – датчик уровня жидкости;
 4 – фланец; 5 – хомут

1.15.13 Распылители системы наддува

Подаваемый в бак газ для наддува (воздух, азот, гелий и т.п.) не должен вспенивать находящуюся в баке жидкость. Для этого существуют различные распылители (рис. 35), превращающие высокоскоростной поток газа в более спокойный.

Если в бак подается газ с высокой температурой, то необходимо устранять местный нагрев материала бака, т.к. это может привести к потере прочности металла. Поэтому использование трубки 6 или распылителя 9 нежелательно.

Все части распылителей собираются, как правило, с применением сварки.

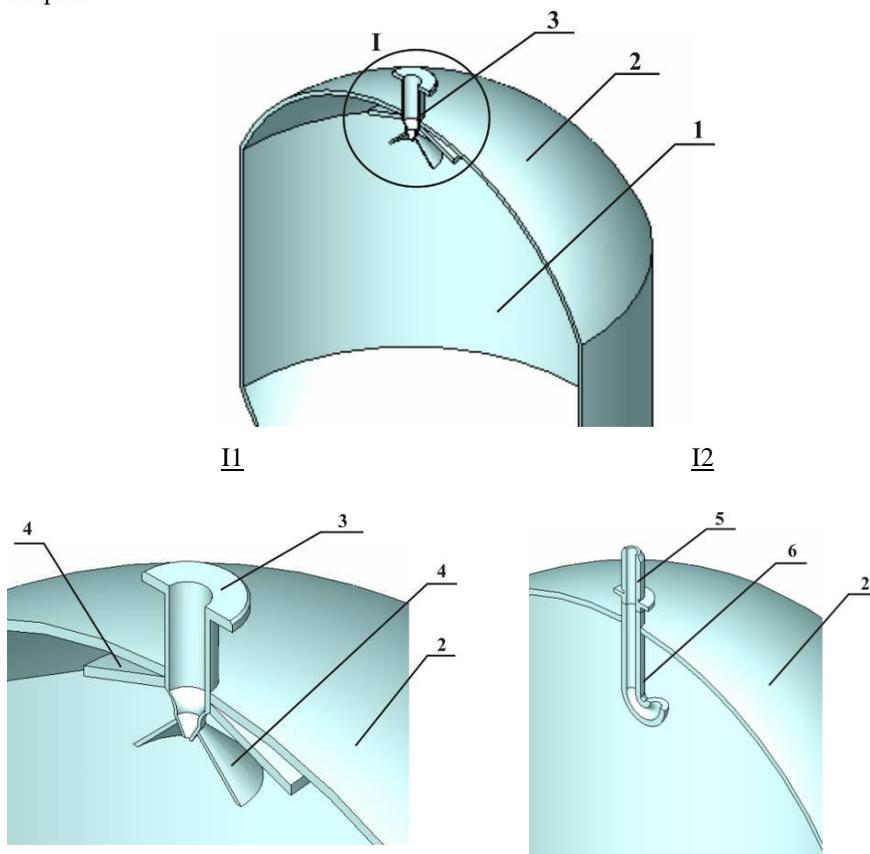


Рисунок 35 – Распылители системы наддува (начало):

1 – бак; 2 – верхнее днище; 3, 5 – штуцеры; 4 – конус; 6 – трубка; 7 – фланец;
8 – распылитель; 9 – рассекатель; 10 – ребро

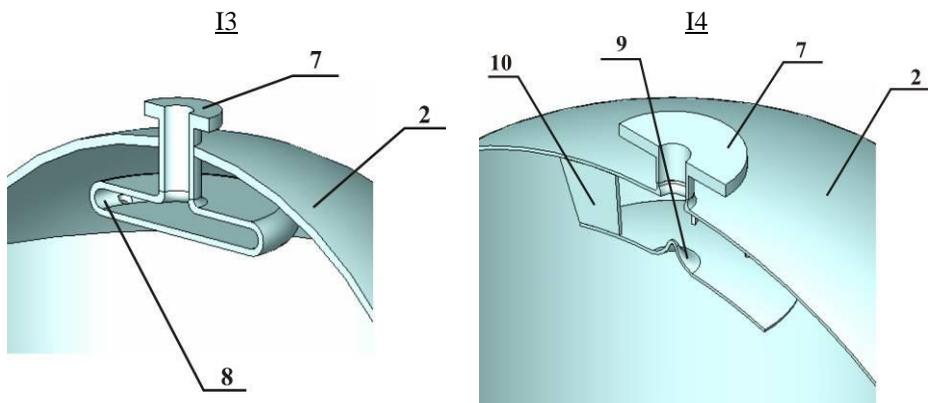


Рисунок 35 – Распылители системы наддува (окончание)

1.15.14 Труба наддува и сброса давления

В случае невозможности или нежелательности подачи давления наддува через верхнее днище подачу газов проводят, как показано на рис. 37, через нижнее днище 4, используя трубу 2 и распылитель 3.

Труба с распылителем служит не только для подачи газа в газовую подушку, но и для сброса излишков газа при превышении давления в баке. Сброс газов происходит через дренажно-предохранительный клапан (ДПК), присоединяемый к фланцу 11. Труба 5 служит для подачи газа в бак. Если газа в газовой подушке достаточно, то излишек его, минуя газовую подушку, стравливается через ДПК. Это уменьшает поток газа через трубопровод и, как следствие, уменьшает нагрев жидкости, если для наддува используют горячие газы.

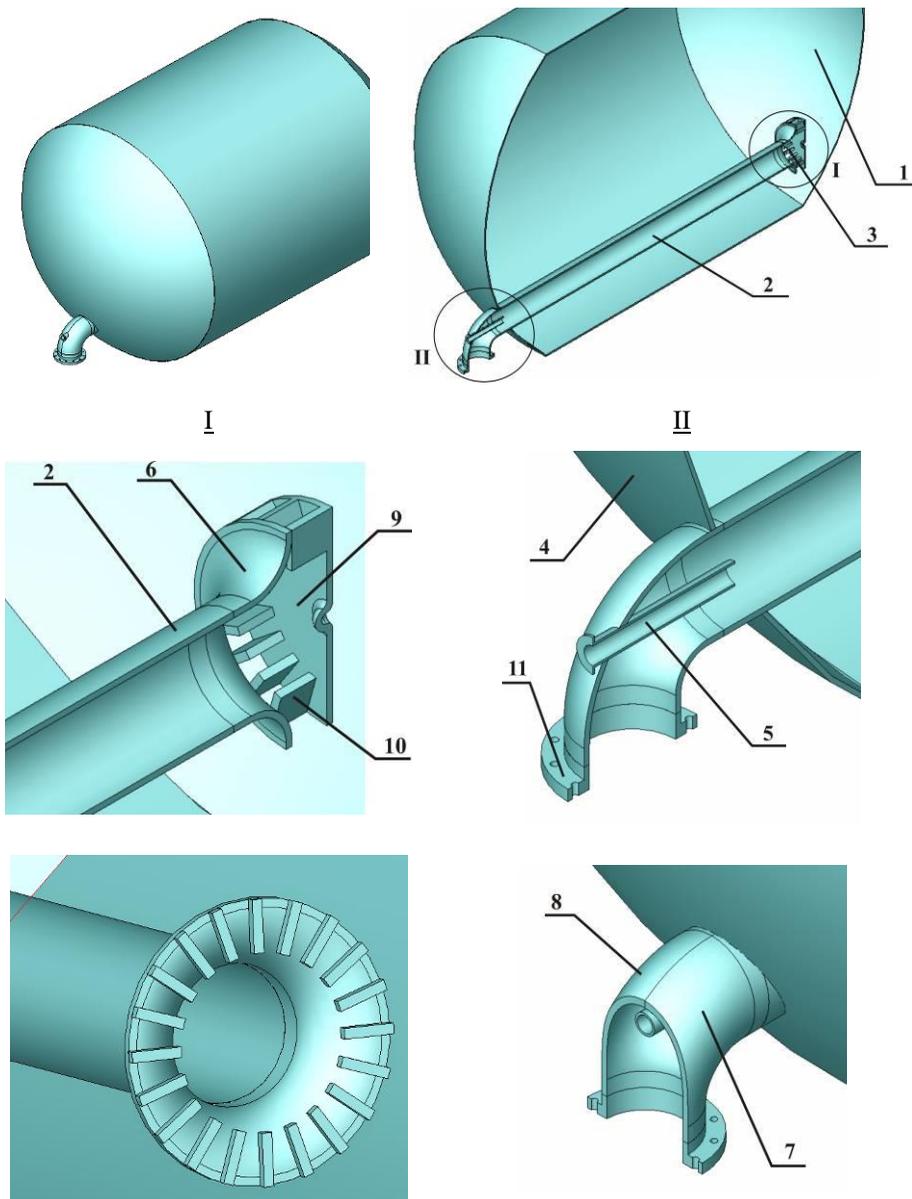


Рис. 36 – Труба наддува и сброса давления:
 1 – бак; 2, 5 – трубы; 3 – распылитель; 4 – нижнее днище; 6 – патрубок;
 7, 8 – полупатрубки; 9 – пластина; 10 – ребро; 11 – фланец

1.16 Стыки и соединения

Все элементы конструкции соединяются между собой. Эти соединения могут иметь вид:

- технологических неразъемных соединений,
- технологических разъемных соединений,
- эксплуатационных разъемных соединений,
- эксплуатационных быстроразъемных соединений.

Разъемные соединения – это в основном болтовые соединения.

Неразъемные соединения выполняются с использованием клепки, сварки, пайки и склейки.

Быстроразъемные соединения используют замки, пневмо- и пиро-устройства.

В данном приложении приведены примеры конструкций различных соединений, встречающихся в ракетостроении.

1.16.1 Стыки гладких листов

Продольные и поперечные стыки листов обшивок сухих отсеков и обечаск баков должны воспринимать и передавать нормальные и касательные напряжения, имеющиеся в оболочках.

Наиболее простой способ – это стык внахлестку с подсечкой или без нее. Такое соединение обеспечивает пылевлагодонепроницаемость, но не пригоден для отсеков, находящихся под избыточным внутренним давлением, т.к. в зоне подсечки или у края листа появляются большие изгибные напряжения. В этом случае лучше применять соединение встык на стрингере или накладке. Количество, диаметр и шаг заклепок выбираются из условий обеспечения прочности соединения:

$$\frac{\sigma_{\text{ОБШ}}^{\partial} t}{d} \leq \sigma_{\text{СМ.З}}, \quad \tau_{\text{СР}}^{\partial} \leq \tau_{\text{СР.З}},$$

где $\sigma_{\text{ОБШ}}^{\partial}$ – нормальные напряжения в обшивке отсека;

$\sigma_{\text{СМ.З}} = 1,3 \sigma_{\text{В.З}}$ – допустимые напряжения на смятие заклепки;

$\sigma_{\text{В.З}}$ – временное сопротивление на разрыв материала заклепки;

d – диаметр заклепки;

t – шаг заклепок;

$$\tau_{CP}^3 = \frac{4\sigma_{Обш}^3 t \delta}{\pi d^2} \text{ – напряжение среза заклепки;}$$

$\tau_{CP.3} = 0,6 \sigma_{B.3}$ – допустимые напряжения среза заклепки.

Обечайки баков могут соединяться как встык, так и внахлестку.

При сварке листов из АМгб происходит потеря прочности материала в зоне сварки или потеря нагартовки у стальных листов. Усиление швов проводят путем установки накладки 4, 6 или путем сварки листов заведомо большей толщины с последующим фрезерованием всего листа (за исключением зон сварки) шириной, равной 10...15 толщинам листа. Желательно выполнять двустороннее фрезерование.

Условие прочности швов с химфрезерованием:

$$\sigma_{ХФ} \leq \sigma_B, \sigma_{CB} \leq K_C \sigma_B,$$

где $\sigma_{ХФ}$ – нормальные напряжения в отфрезерованной зоне; σ_B – временное сопротивление разрыву материала листа; σ_{CB} – нормальные напряжения в листе у шва; K_C – коэффициент ослабления материала в зоне шва.

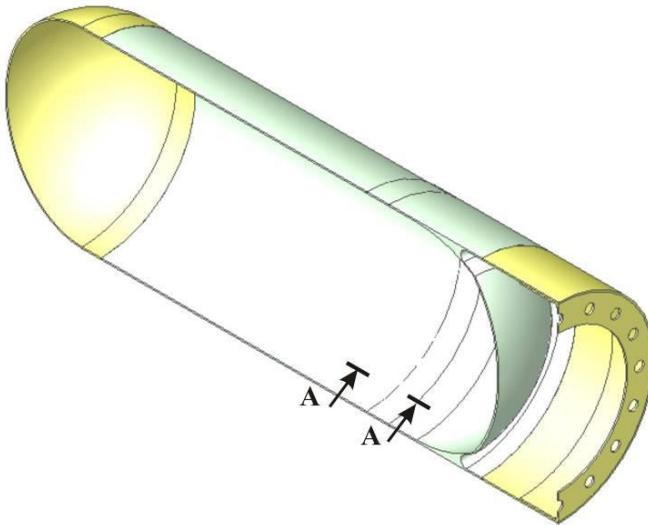


Рисунок 37 – Стыки гладких листов (начало)

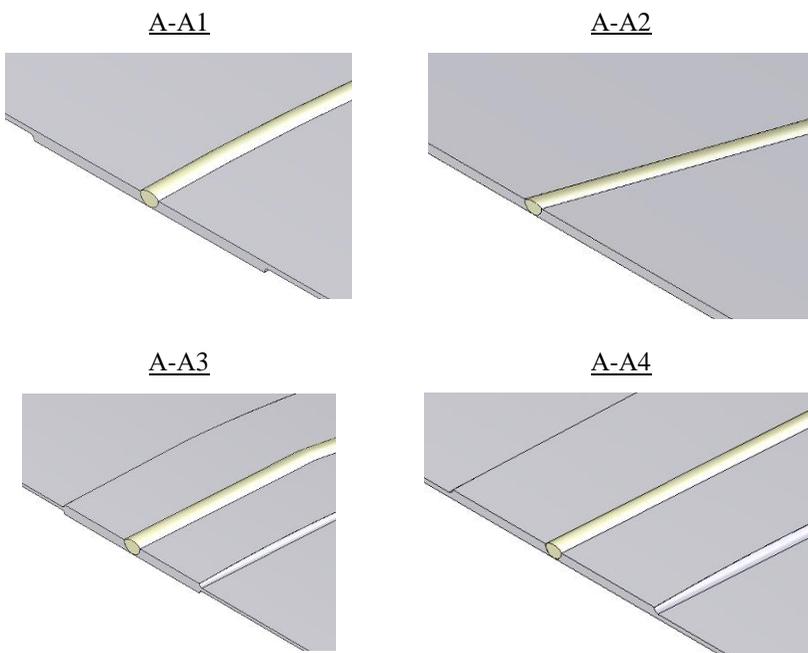


Рисунок 37 – Стыки гладких листов (окончание)

1.16.2 Стыки стрингеров

В случае необходимости стрингеры могут стыковаться для передачи усилий. На рис. 38 приведены некоторые из этих стыков:

- соединение встык с накладкой из такого же профиля, что и сам-стрингер;
- соединение стрингеров внахлестку;
- соединение стрингеров встык с помощью специальной накладки 4;
- соединение стрингеров встык сваркой.

Соединение стрингеров внахлестку или с использованием накладок проводится с помощью заклепок или сварных точек. При этом число заклепок или сварных точек должно удовлетворять условиям прочности:

$$n_3 P_{\text{ЗАКЛ}} \geq P_{\text{СТР}}, \quad n_{\text{СТ}} P_{\text{СТ}} \geq P_{\text{СТР}},$$

где $P_{закл}$ – наименьшее разрушающее усилие заклепки на смятие или срез; $n_з, n_{ст}$ – число заклепок или сварных точек; $P_{СТР} = \sigma_{кр}F_{СТР}$ – критическое усилие, приводящее к потере устойчивости стрингера; $\sigma_{кр}$ – критические напряжения местной потери устойчивости профиля стрингера; $F_{СТР}$ – площадь сечения стрингера; $P_{СТ}$ – разрушающее усилие сварной точки на сдвиг.

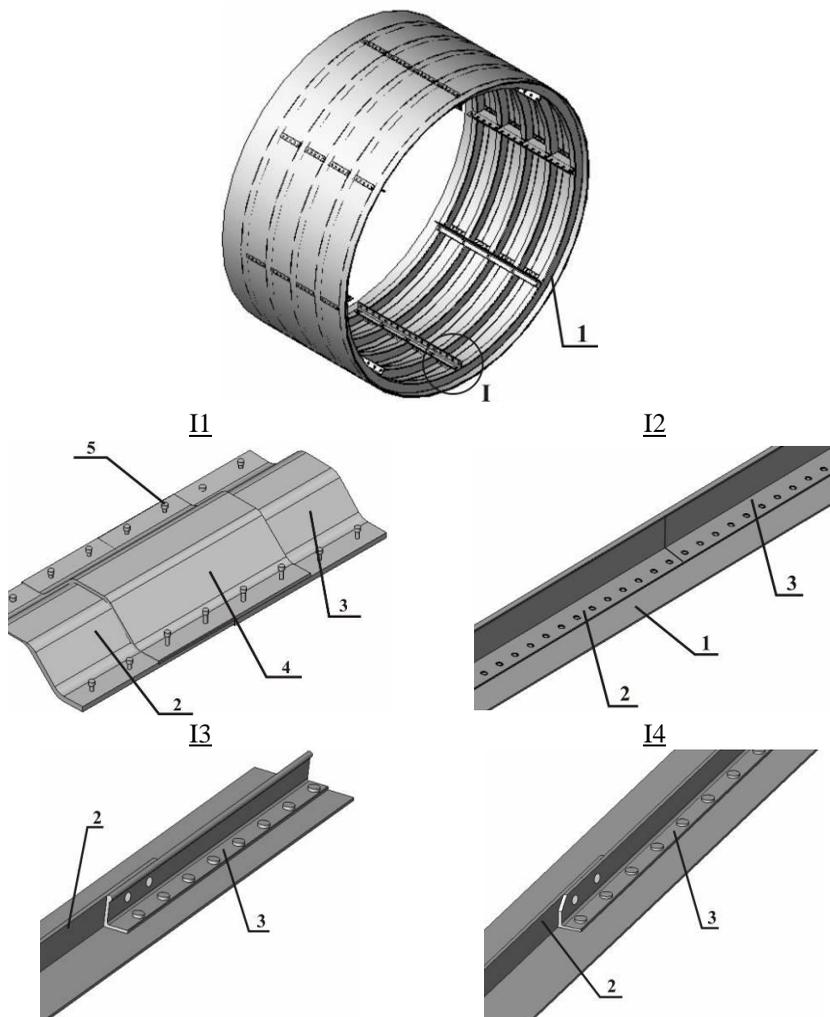


Рис. 38 – Стыки стрингеров:

1 – обшивка; 2, 3 – стрингеры; 4 – накладка; 5 – заклепка

1.16.3 Стыки шпангоутов

В случае, если кольцевые шпангоуты или их элементы невозможно или нецелесообразно изготавливать без стыков, они изготавливаются из прессованных или гнутых профилей с последующим соединением стыков, примеры которых показаны на рис. 39:

- соединение с помощью сварки встык,
- соединение с помощью накладки 3,
- соединение полок шпангоута 6 и стенки 5 с помощью накладки, при этом стыки полок и стенок разнесены по накладке.

Следует иметь в виду, что шпангоуты, изготовленные из АМг6, при сварке теряют прочность, и из-за пористости сварной шов может быть местом течи в герметичных топливных баках.

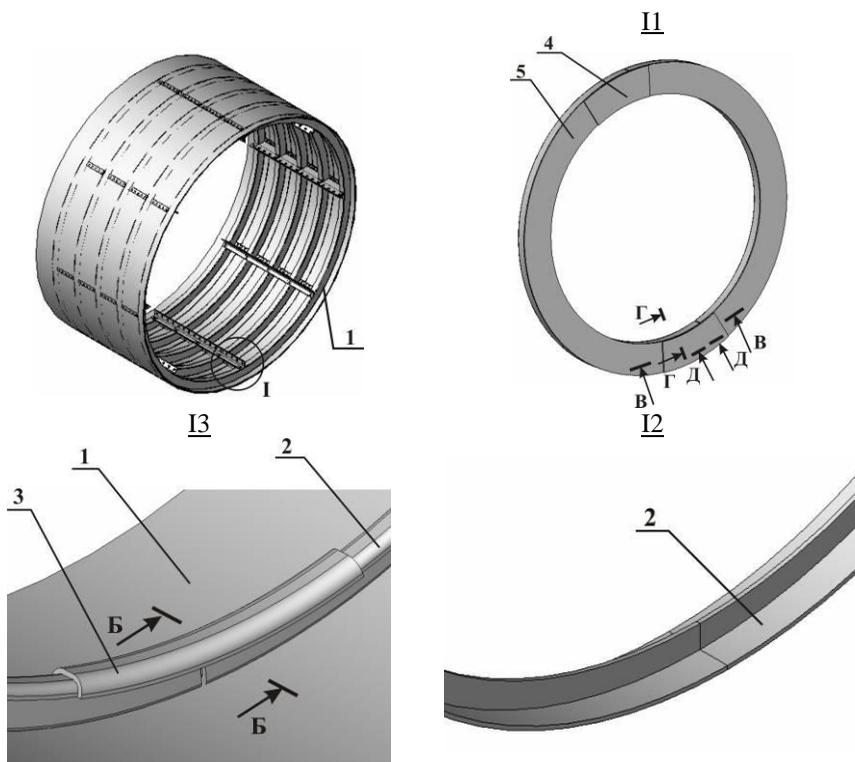


Рисунок 39 – Стыки шпангоутов (начало):

1 – отсек; 2 – шпангоут; 3, 4 – накладки; 5 – стенка шпангоута; 6 – уголок

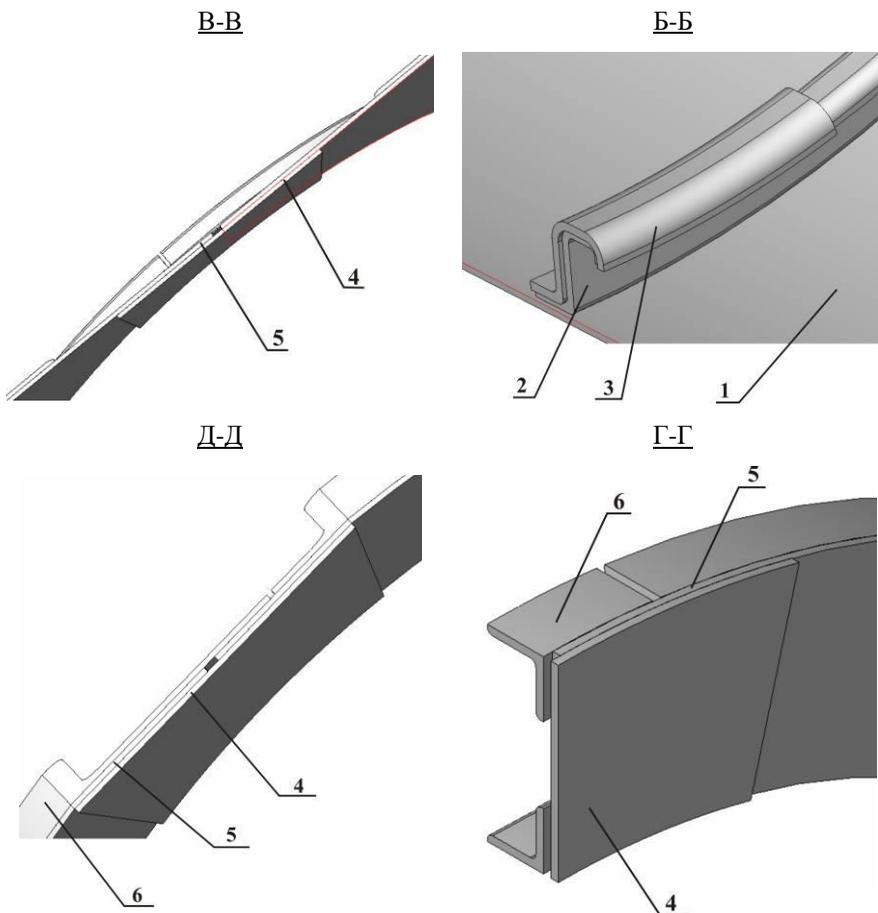
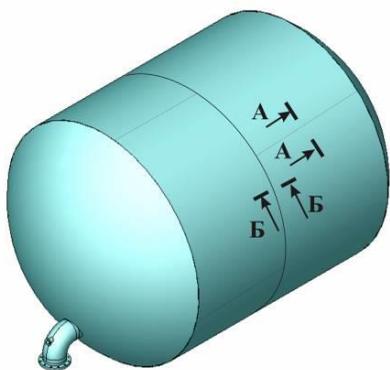


Рисунок 39 – Стыки шпангоутов (окончание)

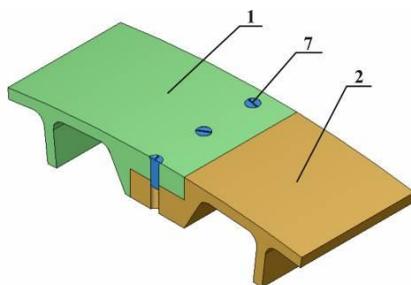
1.16.4 Стыки металлических панелей

Стыки металлических панелей (рис. 40) могут быть как технологическими, так и эксплуатационными, когда панели разъединяются для монтажа или для демонтажа оборудования, а также для других целей.

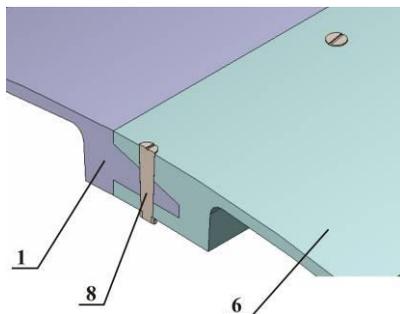
К технологическим стыкам можно отнести соединение сваркой (сеч. А-А3) и соединение с двумя накладками (сеч. А-А4). В эксплуатационных стыках желательно, чтобы элементы крепления снимались снаружи (сеч. А-А1).



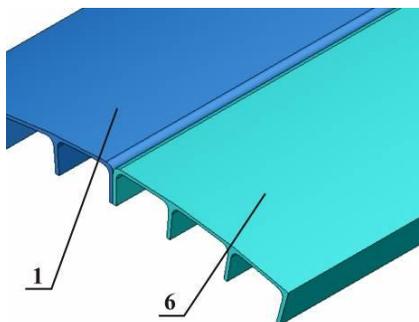
A-A1



A-A2



A-A3



A-A4

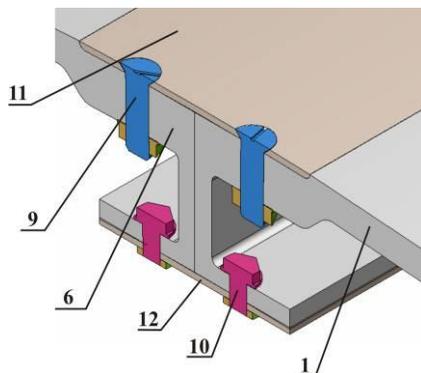


Рисунок 40 – Стыки металлических панелей (начало):
 1, 2, 6 – панели; 3, 4, 5, 9 – крепежи; 7 – винт;
 8 – конусный болт; 11, 12 – накладки

Б-Б1

Б-Б2

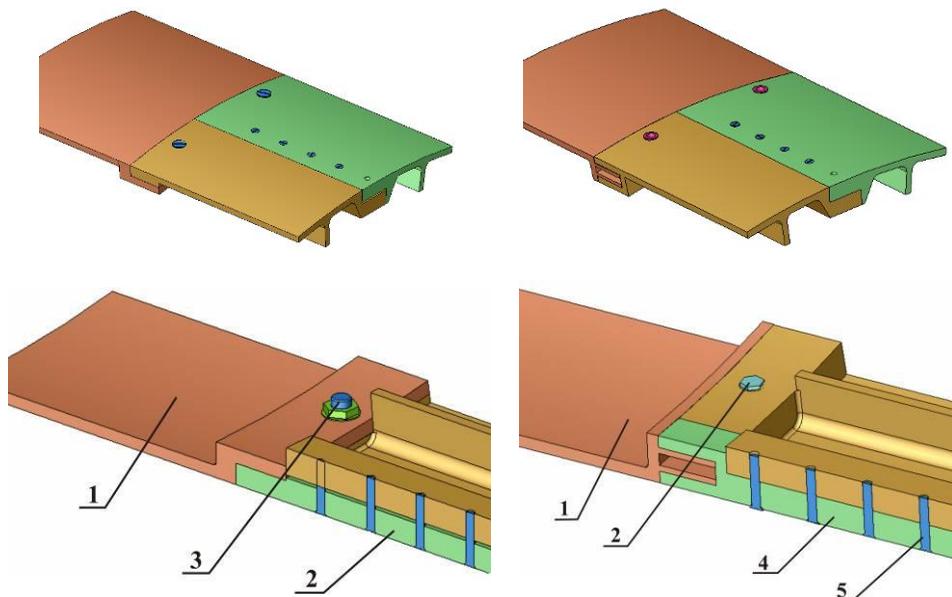


Рисунок 40 – Стыки металлических панелей (окончание)

1.16.5 Стыки неметаллических панелей

Неметаллические, в основном трехслойные, панели (рис. 41) стыкуются с помощью вкладышей из композиционных материалов или из металлов, которые соединяются с оболочками и наполнителем склейкой. Некоторые стыки лишь технологические, неразъемные. В разъемных стыках используется болтовое соединение.

При выборе размеров болтов необходимо учитывать:

- материал вкладышей может подвергаться смятию по цилиндрической части болта, под его головкой или под шайбой;
- болт должен быть подобран так, чтобы резьба не попадала в соединяемый пакет.

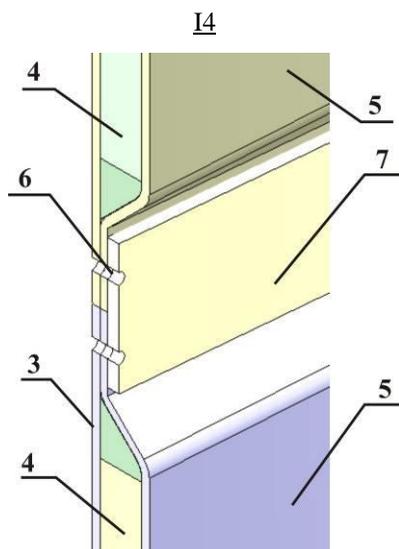
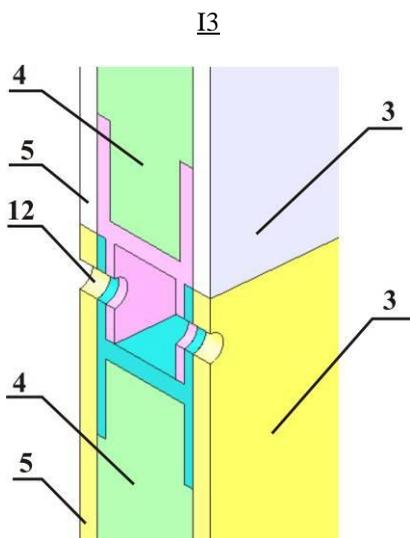
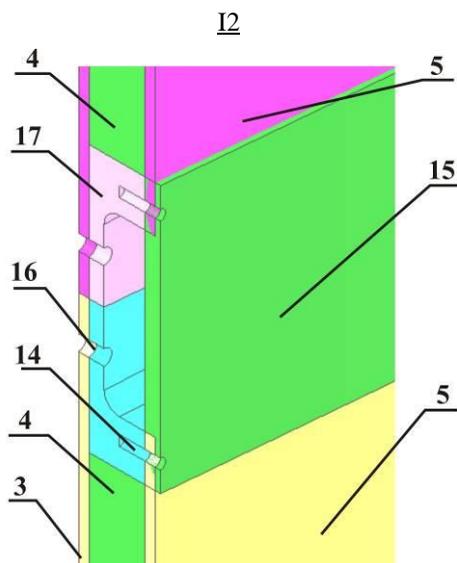
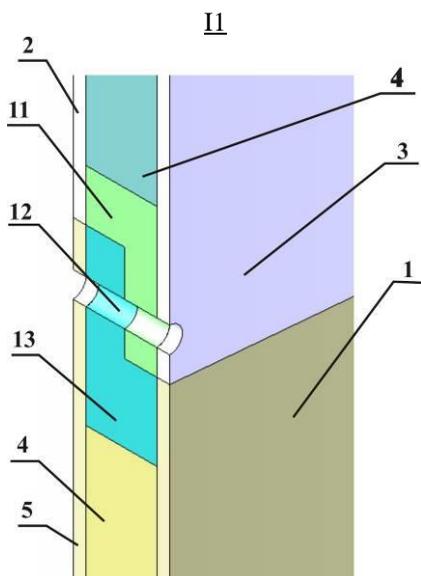


Рисунок 41 – Стыки неметаллических панелей (начало):
 1, 3 – наружная обшивка; 2, 5 – внутренняя обшивка; 4 – наполнитель;
 6, 12, 14, 16 – крепеж; 7, 9, 15 – накладки; 8, 10 – шпангоуты;
 11, 13, 17 – вкладыши

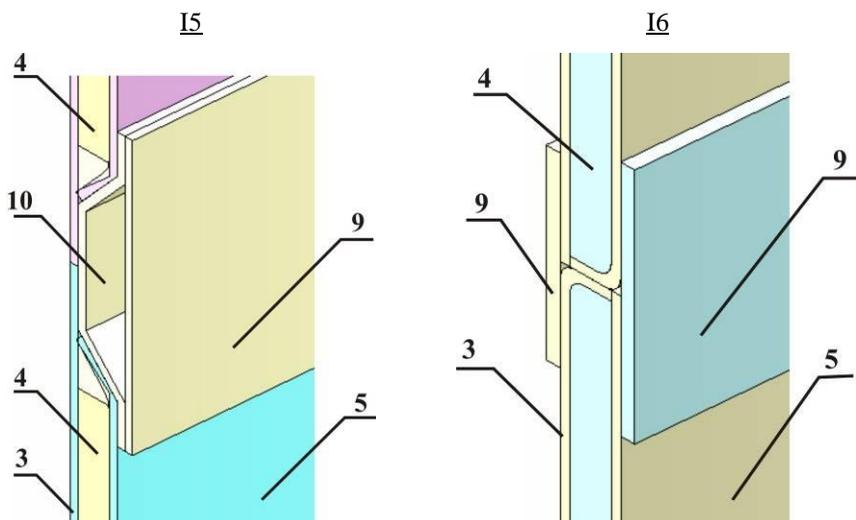


Рисунок 41 – Стыки неметаллических панелей (окончание)

1.16.6 Стыки отсеков малого диаметра

Среди стыков отсеков малого диаметра имеется большое разнообразие (рис. 42). При конструировании таких стыков необходимо соблюдать следующие требования:

- возможность в неоднократной сборке и разборке ракеты по стыку,
- конструкция должна быть простой и технологичной.

Массивные отсеки малого диаметра могут собираться на резьбе с установкой прокладок, фиксироваться с помощью контргайки или соединяться одной гайкой, имеющей правую и левую резьбы.

Допустимо телескопическое соединение тонкостенных оболочек на винтах, заворачивающихся в анкерные гайки.

Применение штифтов, запрессованных в стыке отсеков, обеспечивает быстроту сборки и простоту демонтажа.

Конструкция с бандажом из пружинной стали и штифтов, входящих в отверстия отсеков, обеспечивает быструю безударную расстыковку отсеков при разрыве бандажа (пирозамком, пиножом, пневмоустройством и т.п.).

Очень удобное, но негерметичное соединение обеспечивается пружинным кольцом, входящим в пазы гребня отсеков.

Возможно применение быстроразъемного байонетного соединения, базирующегося на впадинах и соответствующих выступах части окружности корпусов.

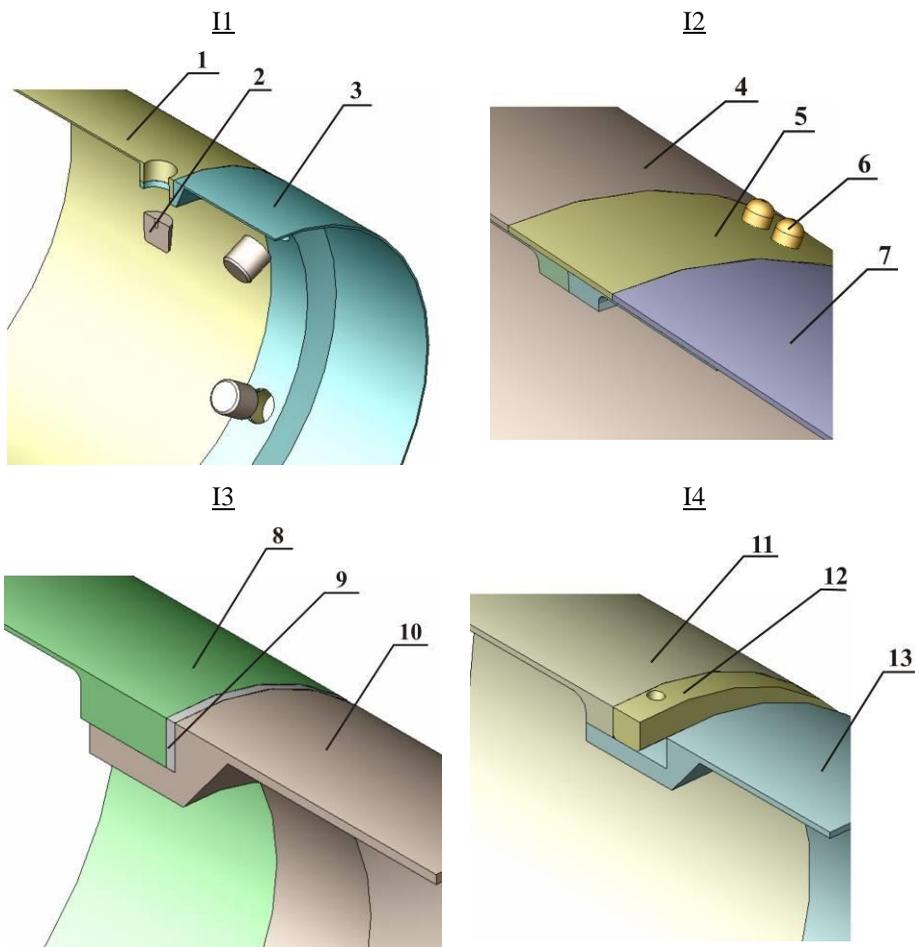


Рисунок 42 – Стыки отсеков малого диаметра (начало):
 1, 4, 7 – обшивки; 2 – вкладыш; 3, 8, 10, 11, 13, 14, 16 – отсеки;
 5 – бандаж; 6 – штырь; 9 – прокладка; 12, 14 – гайки

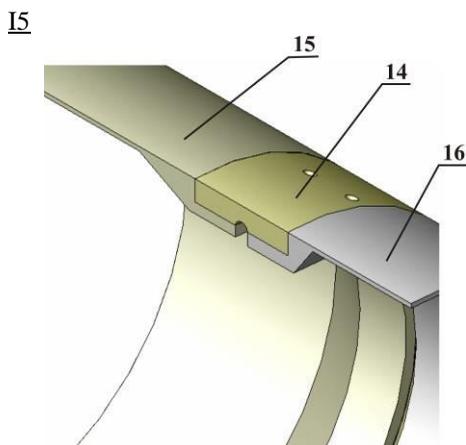


Рисунок 42 – Стыки отсеков малого диаметра (окончание)

1.16.7 Стыки отсеков большого диаметра

Отсеки большого диаметра (рис. 43) стыкуются с помощью фланцевых болтовых соединений, хотя можно ожидать и применение болтового телескопического и сварного соединений. Для передачи перерезывающих сил используют гладкие шпильки или штифты 15, или выступы-впадины в шпангоутах 6.

Отверстия под болты делают на 0,2...0,6 мм больше диаметра болта, однако необходимо соблюдать допуски на угловые размеры расположения отверстий на шпангоуте. Шпильки 15 недопустимо устанавливать симметрично. Необходимо хотя бы одну шпильку сместить на некоторое угловое расстояние. Это необходимо, чтобы случайно не провести сборку при неправильном положении плоскостей стабилизации.

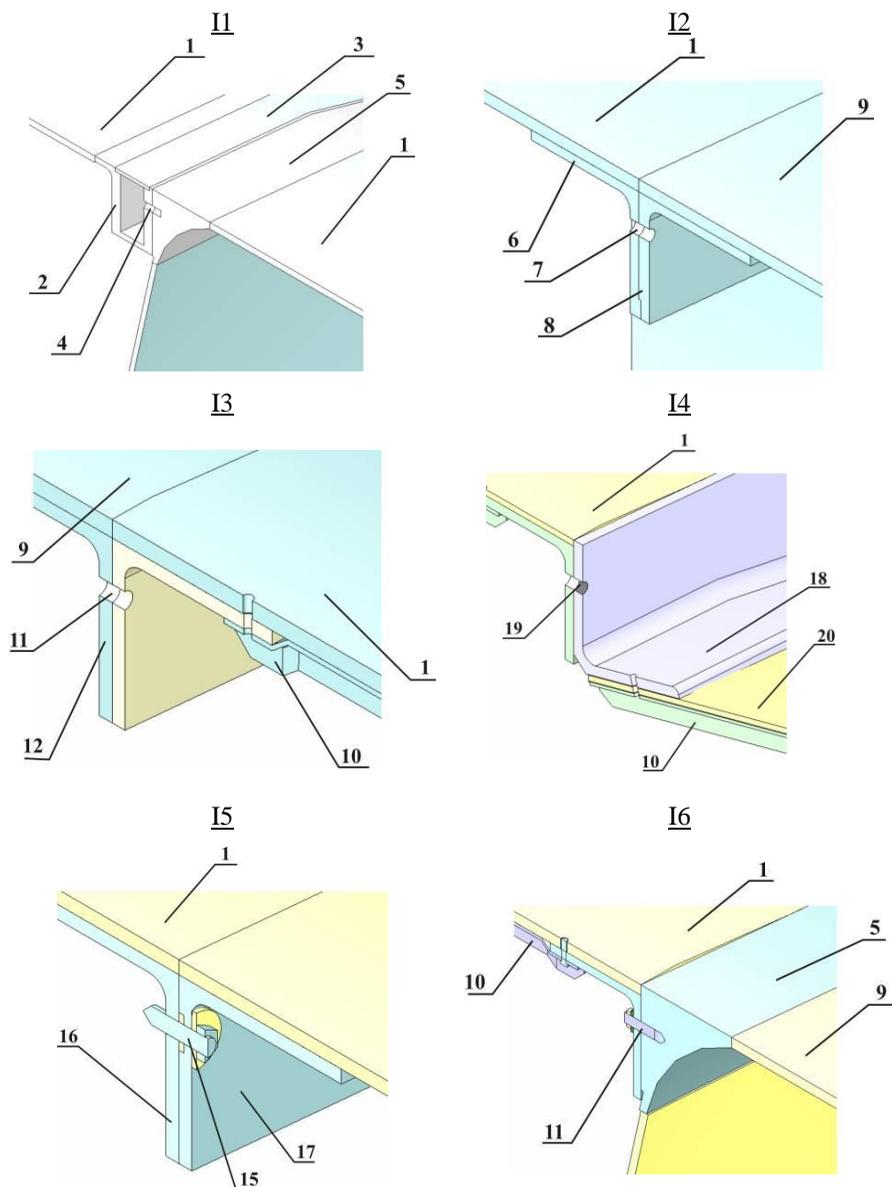


Рис. 43 – Стыки отсеков большого диаметра (начало):
 1, 9, 20 – обшивки; 2, 5, 6, 8, 12, 16, 17, 18 – шпангоуты; 3 – накладка;
 4, 7, 19 – отверстия под крепеж; 10 – стрингер; 11 – крепеж; 13 – юбка бака;
 14 – днище бака; 15 – шпилька

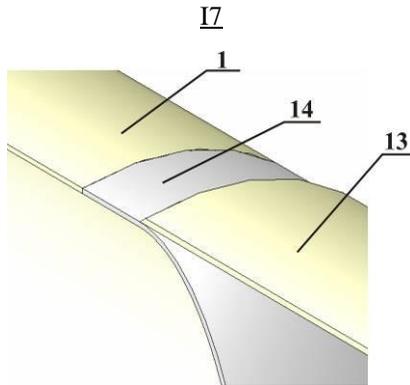


Рисунок 43 – Стыки отсеков большого диаметра (окончание)

1.16.8 Стыки магистралей неподвижные, разъемные и неразъемные

Магистраль пневмогидросистем состоит из отрезков труб, соединяемых между собой (рис. 44). При конструировании соединений трубопроводов необходимо учитывать вопросы:

- обеспечения герметизации,
- выбора метода соединения,
- выбора типа крепления трубопроводов к корпусу.

В соединениях трубопроводов малого диаметра герметизация осуществляется следующими способами:

- за счет вдавливания ниппеля в тело штуцера,
- за счет сжатия конца трубопровода ниппелем и штуцером,
- за счет сжатия металлической или неметаллической прокладки между ниппелем и штуцером.

При больших диаметрах трубопроводов наибольшее распространение получили соединения дюритом и с помощью фланцев.

Во фланцевом соединении герметизация осуществляется путем постановки резиновых или металлических прокладок, которые обжимаются с помощью болтов, проходящих через фланцы или обжимные кольца.

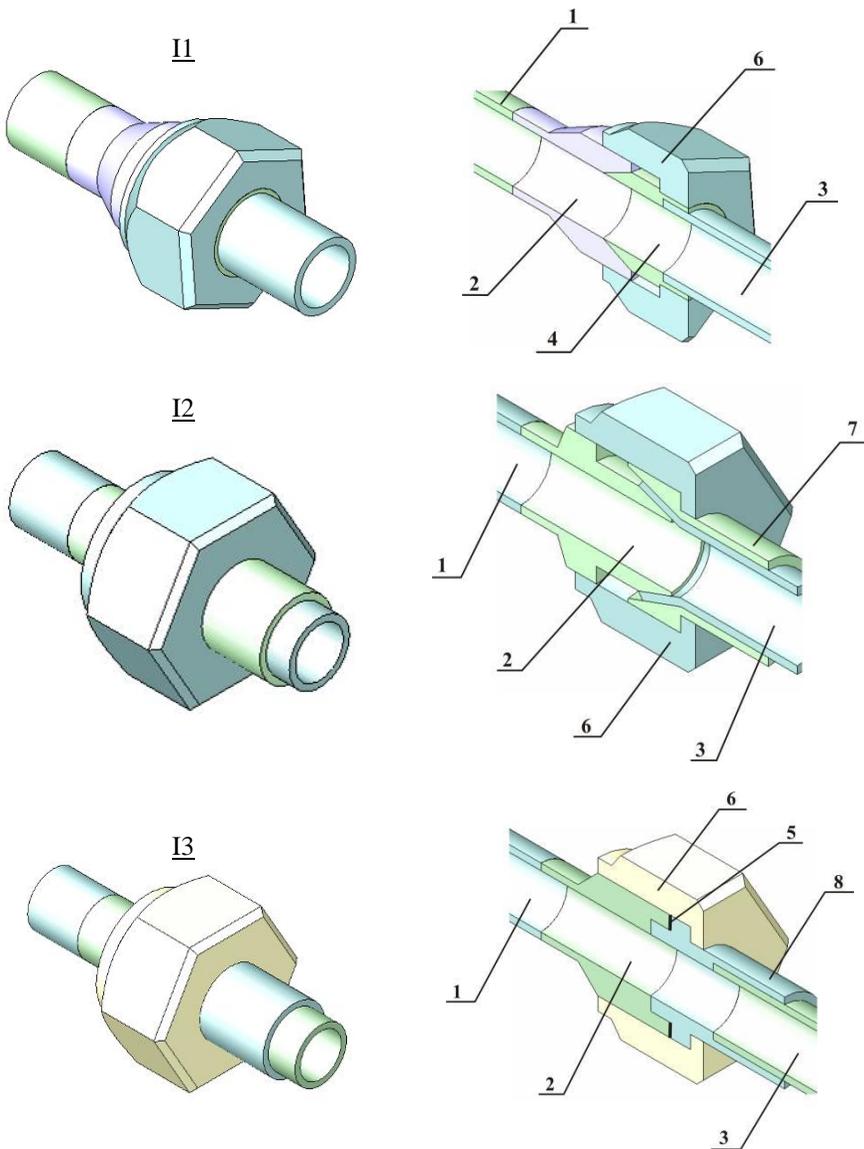


Рисунок 44 – Стыки магистралей неподвижные, разъемные (начало):
 1, 3, 12, 16, 17, 18, 22 – трубопроводы; 2 – штуцер; 4, 7, 8 – nipples;
 5, 9, 13 – прокладки; 6 – накидная гайка; 10, 14 – крепежи; 11 – фланец;
 15 – кольцо; 19 – хомут; 20 – винт; 21 – дюрит

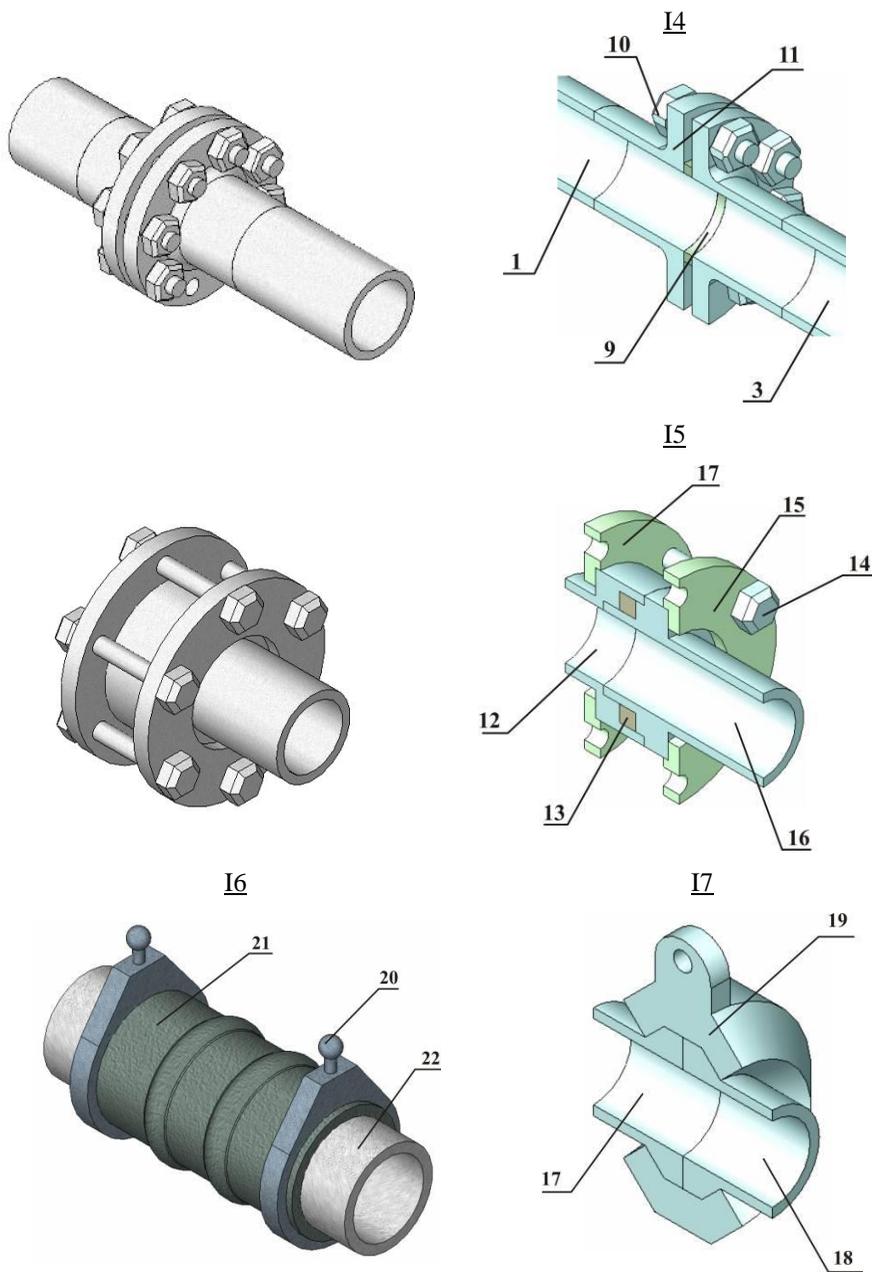


Рисунок 44 – Стыки магистралей неподвижные, разъемные (окончание)

Соединения магистралей ПГС для $d_y=4\div 50$ мм можно подразделить на два вида:

- неразъемные соединения;
- разъемные соединения.

К **неразъемным соединениям** относят сварные соединения. Наконечники являются арматурой для сварных стыков трубопроводов.

На рис. 45 показано конструктивное исполнение наконечников. Они делятся на две группы: однобуртовые (а) и двухбуртовые (б). Бурты – конструктивные элементы, необходимые для сварки, при этом присадочную проволоку не используют.

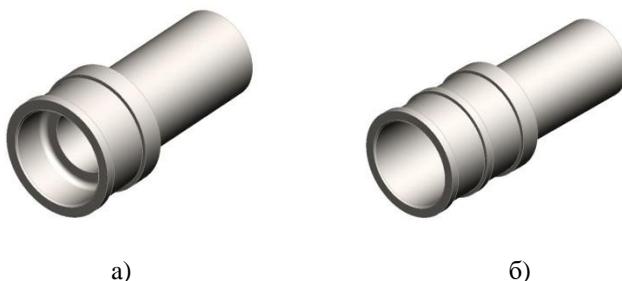


Рисунок 45 – Виды наконечников

На рис. 46 показаны три сочетания наконечников: однобуртовый+однобуртовый (а), однобуртовый+двухбуртовый (б), двухбуртовый+двухбуртовый (в). В зависимости от этого сочетания подбирается и устанавливается между наконечниками центрирующая втулка (короткая, средняя, длинная). При использовании двухбуртовых наконечников появляется возможность отремонтировать стык трубопроводов (при этом разрезается сварной шов, устанавливается ремонтная втулка).

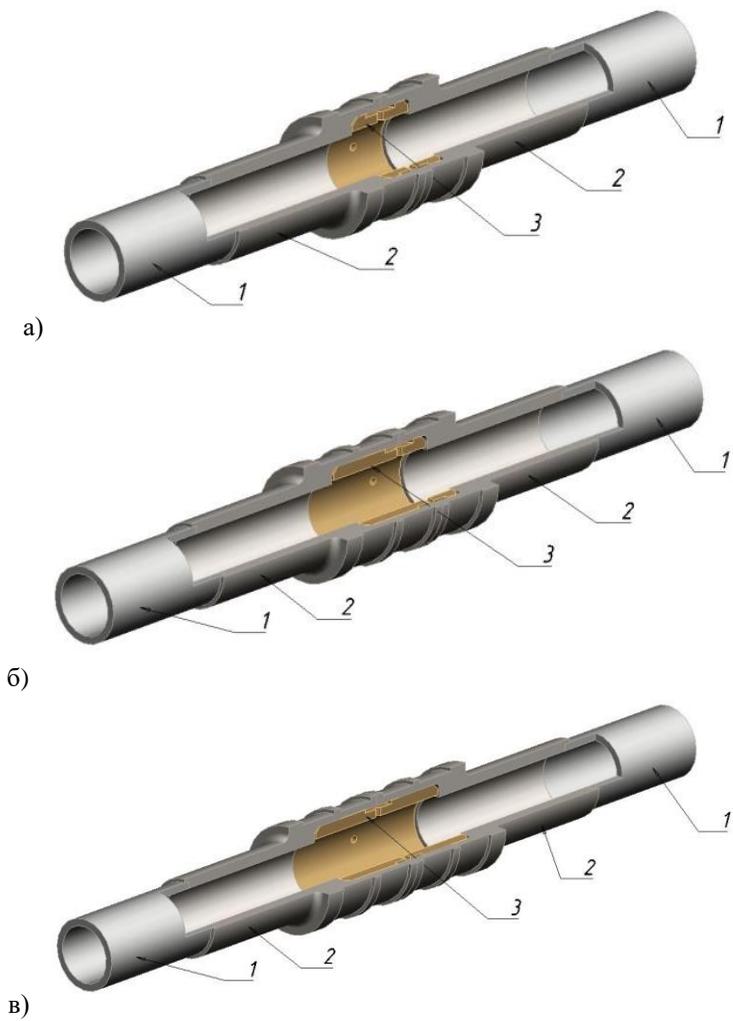


Рисунок 46 – Виды соединений наконечников:
1 – труба; 2 – наконечник; 3 – втулка

К **разъемным соединениям** относят штуцерное соединение, которое применяется в жидкостных и газовых средах, в том числе и агрессивных, при различных температурах и давлениях. В магистральных ПГС используются следующие типы штуцерных соединений:

- соединение по внутреннему конусу (торцовое);
- соединение с плоской металлической прокладкой (торцевое).

Штуцерные соединения по внутреннему конусу (торцовое)

Герметичность обеспечивается плотным прилеганием конуса штуцера и полусферы ниппеля, а также моментом затяжки накладной гайки. На рис. 47-52 приведены примеры соединений по внутреннему конусу.

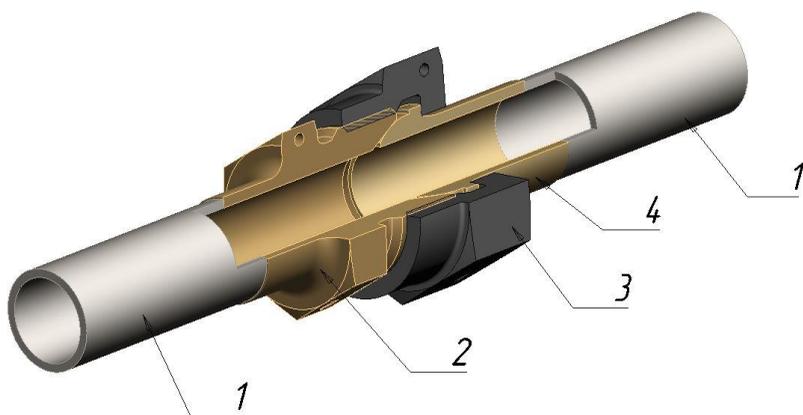


Рисунок 47 – Соединение штуцера с ниппелем:
1 – труба; 2 – штуцер; 3 – гайка накладная; 4 – ниппель

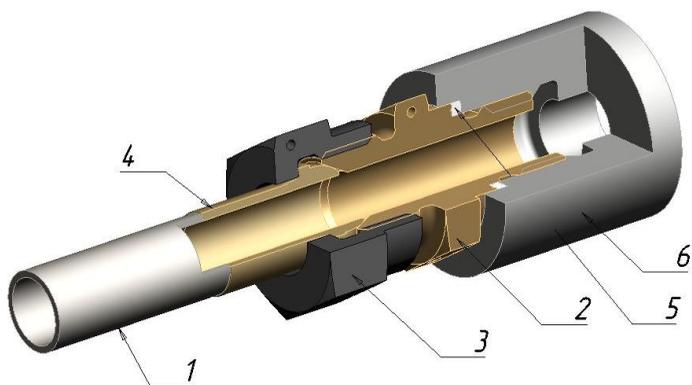


Рисунок 48 – Соединение nipples с ввертным штуцером:
 1 – труба; 2 – штуцер ввертной; 3 – накидная гайка; 4 – nipple; 5 – прокладка; 6 – гнездо

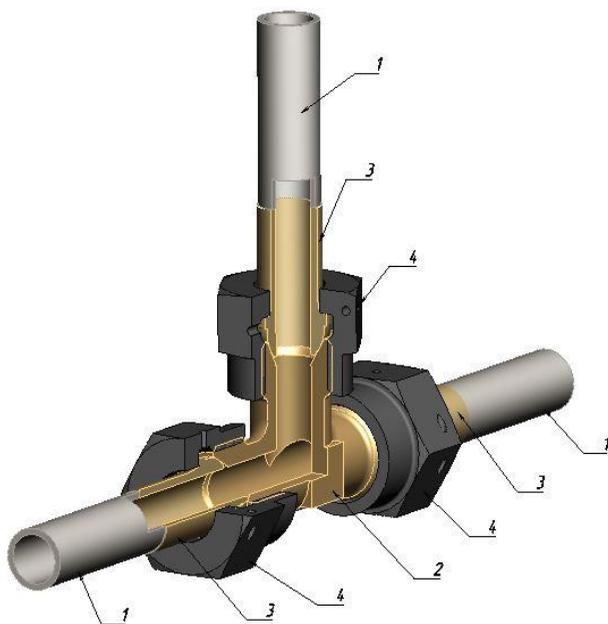


Рисунок 49 – Соединение тройника с nipples:
 1 – труба; 2 – тройник; 3 – nipple; 4 – гайка накидная

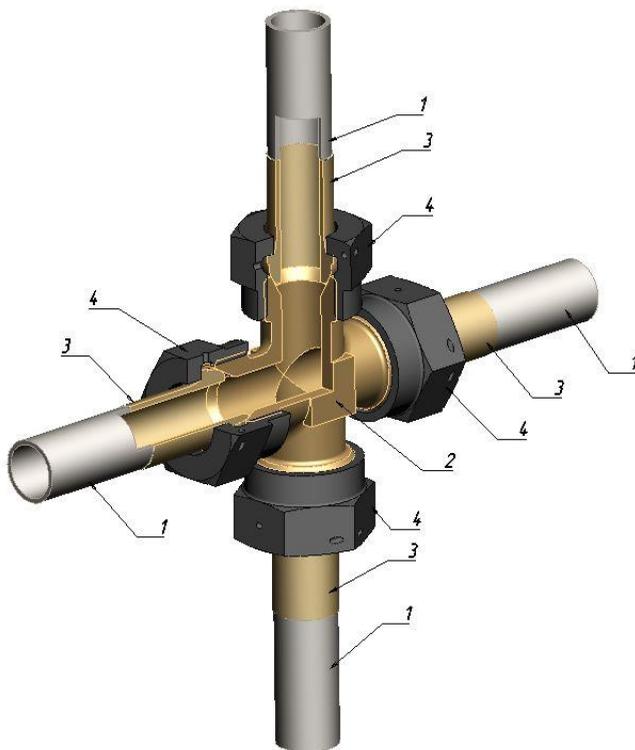


Рисунок 50 – Соединение штуцера с ниппелем:
1 – труба; 2 – крестовина; 3 – ниппель; 4 – гайка накладная

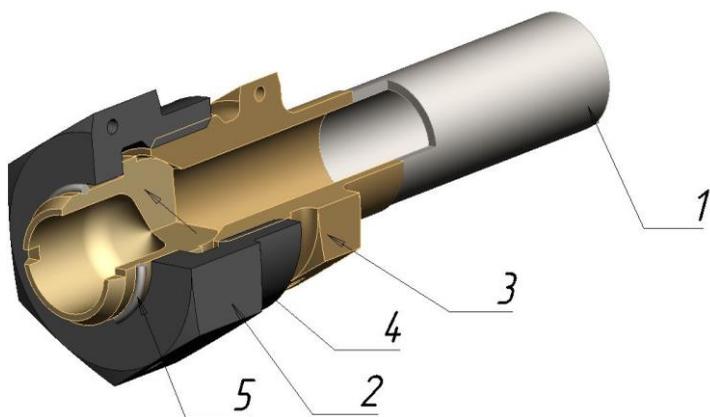


Рисунок 51 – Соединение nipples глухого со штуцером:
 1 – труба; 2 – гайка накидная; 3 – штуцер; 4 – заглушка;
 5 – стопорное кольцо

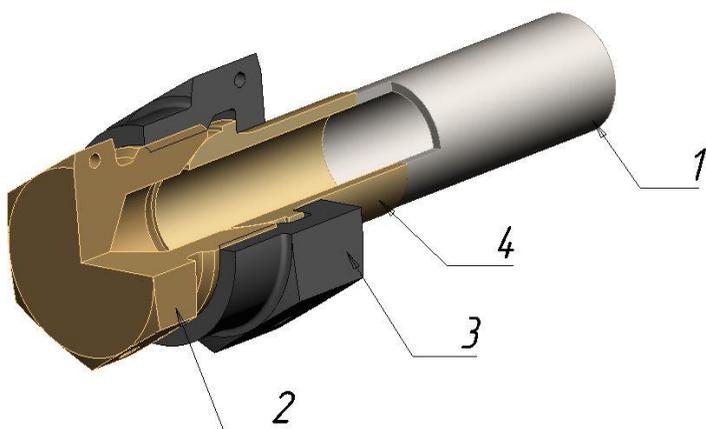


Рисунок 52 – Соединение заглушки с nippleм:
 1 – труба; 2 – заглушка; 3 – гайка накидная; 4 – nipple

Штуцерные соединения с плоской металлической прокладкой (торцевое)

Герметичность обеспечивается наличием прокладки и моментом затяжки накладной гайки. На рис. 53-55 приведены примеры соединений с плоской металлической прокладкой.

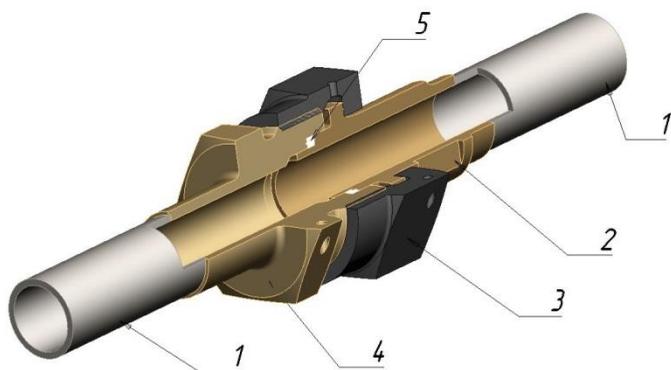


Рисунок 53 – Соединение штуцера и наконечника:
1 – труба; 2 – штуцер; 3 – гайка накладная; 4 – наконечник; 5 – прокладка

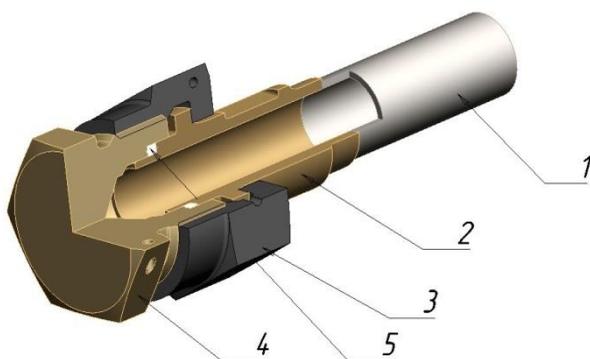


Рис. 54 – Соединение штуцера и заглушки:
1 – труба; 2 – штуцер; 3 – гайка накладная; 4 – заглушка; 5 – прокладка

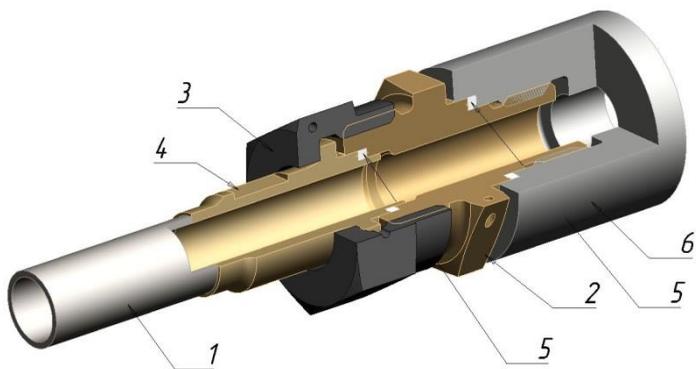


Рисунок 55 – Соединение с ввертным переходником:
 1 – труба; 2 – переходник ввертной; 3 – гайка накидная; 4 – наконечник;
 5 – прокладка; 6 – гнездо

1.16.9 Стыки магистральные подвижные

Для подачи топлива в агрегаты, имеющие перемещение один относительно другого, и для компенсации различного рода перемещений (тепловые, деформации от нагружения и т.п.) применяют подвижные устройства: гибкие шланги, сильфоны и т.п. (рис. 56).

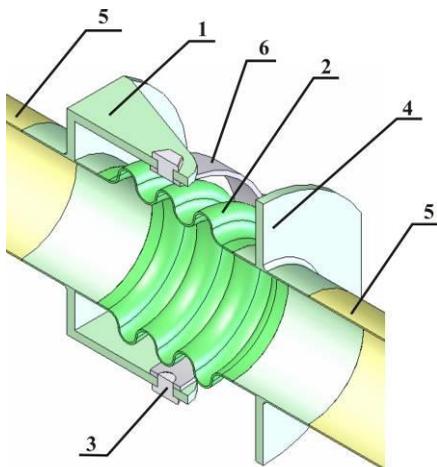
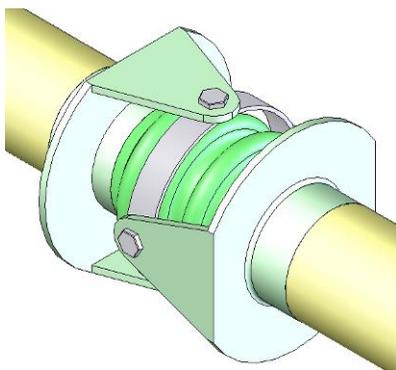
Карданное соединение позволяет поворачивать вилки 1 и 4, которые являются продолжением трубопроводов 5. Кольцо 6 обеспечивает поворот вилок относительно двух пересекающихся осей. Герметизация обеспечивается сильфоном 2, для которого такая деформация допустима.

Другая конструкция с сильфоном 17 и кольцами 18 также позволяет втулкам 15 и 19 поворачиваться относительно двух осей. Эта конструкция применима для качающегося заборника, отслеживающего положение уровня жидкости при появлении боковых перегрузок.

Сильфон 12 позволяет компенсировать линейные перемещения трубопроводов 13 и 7, а стакан 14 не допускает поворота и сдвига плоскостей крепления сильфона и уменьшает гидравлическое сопротивление стыка.

Гибкие шланги низкого давления имеют заделку резиновой трубки 22 с помощью обжатия стакана 21. Шланг высокого давления может иметь в трубке усиливающую оплетку или иметь в оплетке 25 гибкий сильфонный рукав 26.

И



И2

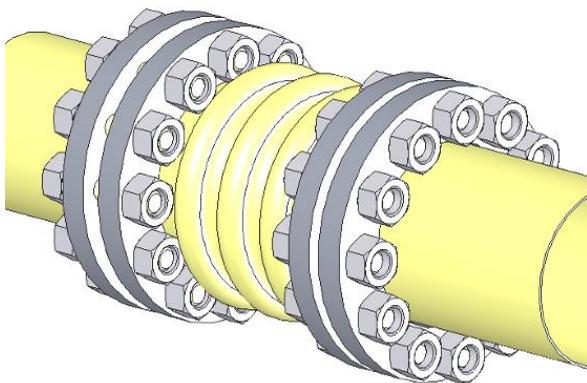
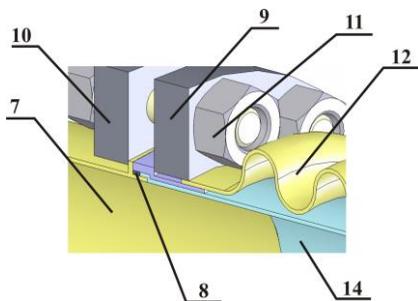
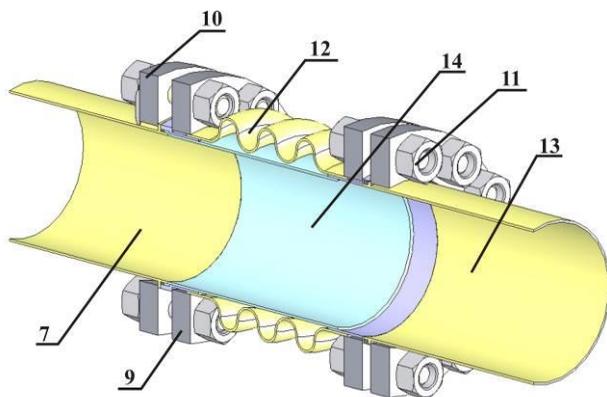


Рисунок 56 – Стыки магистральные подвижные (начало):
1, 4 – вилки; 2, 12, 17 – сильфоны; 3 – болт; 5, 7, 13 – трубопроводы;
6, 9, 10, 18, 19 – кольца; 8 – прокладка; 11 – крепеж; 14, 21 – стаканы;
15 – заканцовка; 16 – крестовина; 20 – гайка; 22 – резиновый шланг;
23, 24 – ниппели; 25 – оплетка; 26 – сильфонный рукав



13

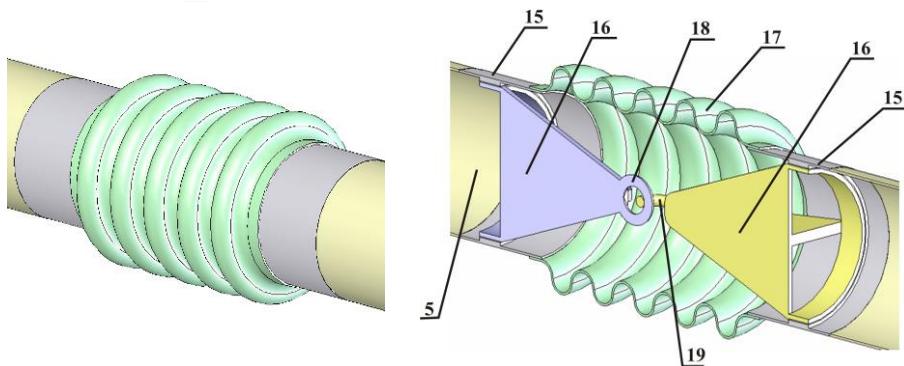


Рисунок 56 – Стыки магистральные подвижные (продолжение)

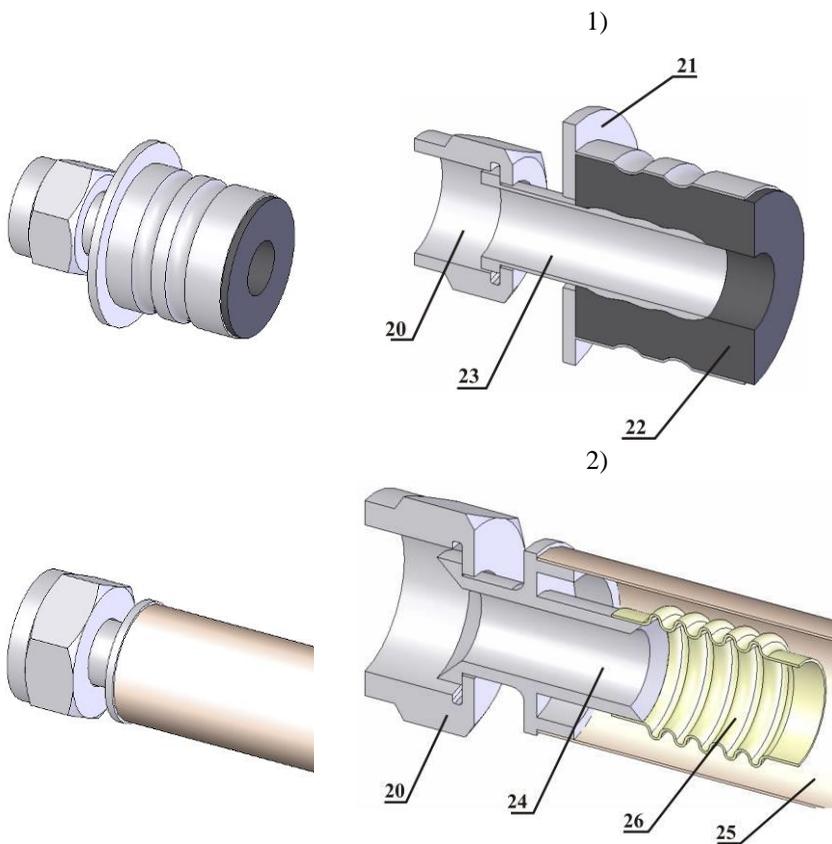


Рисунок 56 – Стыки магистральные подвижные (окончание)

2 МОНТАЖ БОРТОВОЙ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ

В большинстве случаев бортовая кабельная сеть (БКС) монтируется на РН при помощи держателей (прижимов, хомутов и пр.) либо при помощи клея и кремнеземной ленты. Первый способ используется для каркаса клепаной конструкции, второй – для каркаса из композита.

Далее показан монтаж БКС на каркасе клепаной конструкции.

Держатели трассы БКС могут быть установлены на уголках либо непосредственно на каркасе изделия (стрингерах, шпангоутах и т.д.). На рис. 57 представлен вариант крепления трассы БКС при помощи уголка. На рис. 58 – вариант крепления кабеля при помощи держателя, установленного непосредственно на каркасе изделия.

БКС на изделии монтируется в следующем порядке:

- агрегатно-клепальный цех выполняет необходимые отверстия в каркасе и монтирует уголки, кронштейны и перестыковочные платы;
- цех окончательной сборки устанавливает держатели и проводит монтаж кабелей.

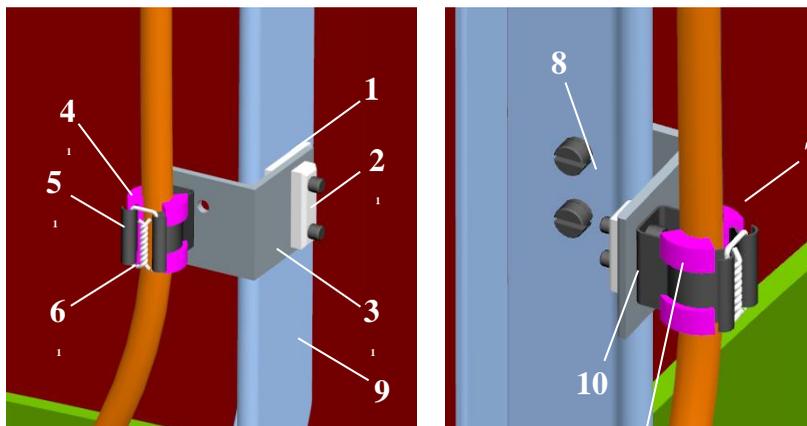


Рисунок 57 – Типовое крепление трассы БКС при помощи держателя и уголка:

- 1 – пластина термоизоляционная; 2 – пластина гаечная; 3–уголок;
- 4–прокладка; 5 – держатель; 6 – проволока контролочная; 7 – кабель;
- 8 –винт, шайба; 9 – стрингер; 10 – пластина гаечная

На рис. 59 показан типовой монтаж соединителя на кронштейне, который, в свою очередь, установлен на стрингере.

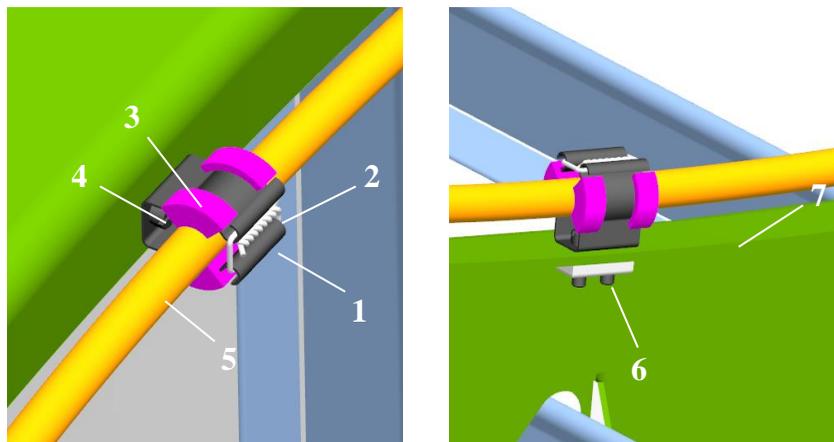


Рисунок 58 – Типовое крепление трассы БКС при помощи держателя непосредственно к каркасу изделия:

1 – держатель; 2 – проволока контровочная, 3- прокладка; 4 – винт, шайба;
5 – кабель; 6 – пластина гаечная; 7 – шпангоут

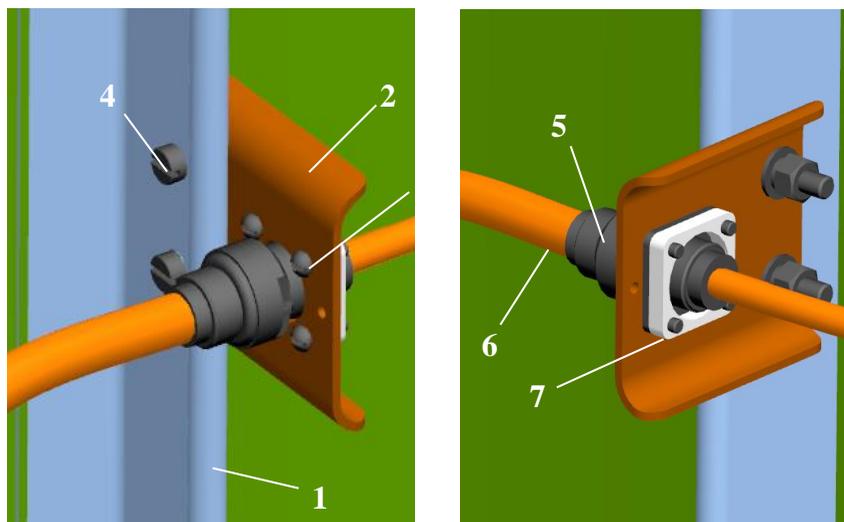


Рисунок 59 – Типовая установка соединителя на кронштейне:

1 – стрингер; 2 – кронштейн; 3 – винт, шайба; 4 – винт, шайбы, гайка;
5 – соединитель; 6 – кабель; 7 – пластина гаечная

Монтаж БКС на каркасе из композита показан на рис. 60. В данном случае два отрезка ленты (один из кремнеземной ленты, другой из ленты х/б) приклеиваются к каркасу, после чего прокладывается кабель трассы БКС и свободные концы ленты х/б завязываются в узел, прижимая тем самым кабель к каркасу. Узел и концы ленты х/б пропитываются клеем.

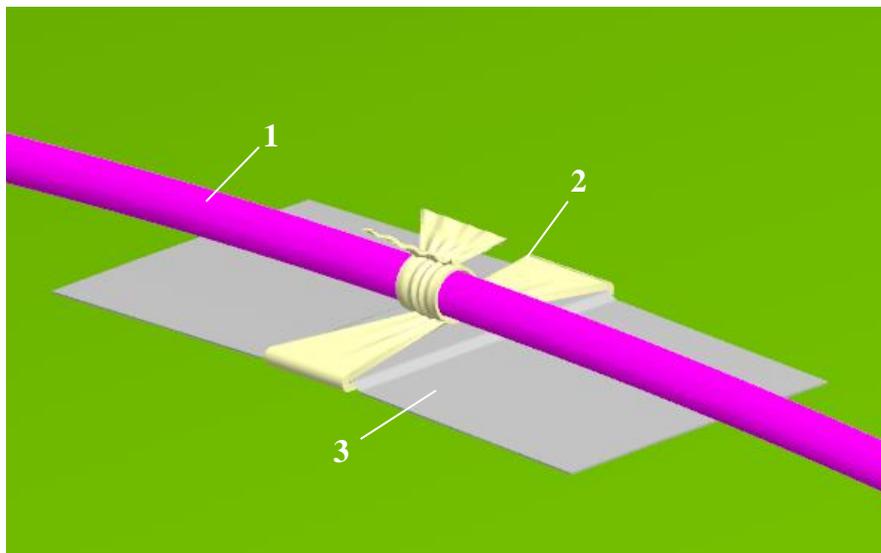


Рисунок 60 – Типовое крепление трассы БКС к каркасу из композита:
1 – кабель; 2 – лента х/б; 3 – лента кремнеземная

Типовое подключение трассы БКС к бортовой аппаратуре (БА) показано на рис. 61.

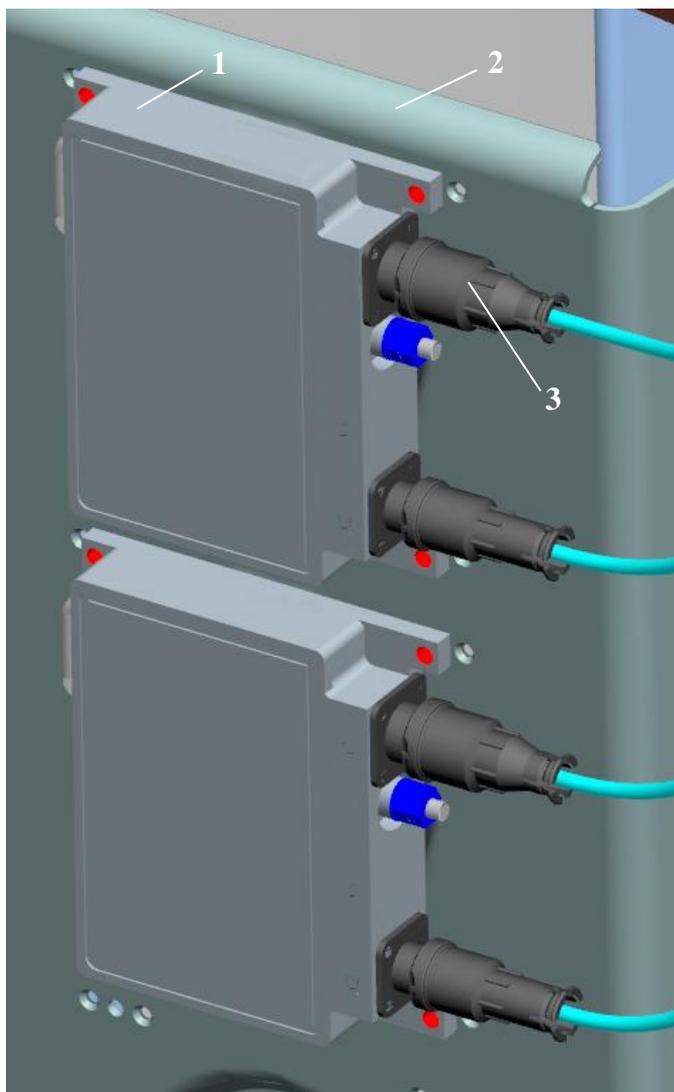


Рисунок 61 – Типовое подключение трассы БКС к БА:
1 – прибор; 2 – кронштейн; 3 – соединитель кабеля

3 МОНТАЖ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ

На рис. 62 показано крепление датчика давления, который служит для измерения давления за обшивкой отсека. Датчик закреплен жестко к каркасу, трубка, соединяющая его с заборником, изогнута в спираль для компенсации перемещений, вызванных вибрациями, и сглаживания пульсаций контролируемого давления в процессе полета РН.

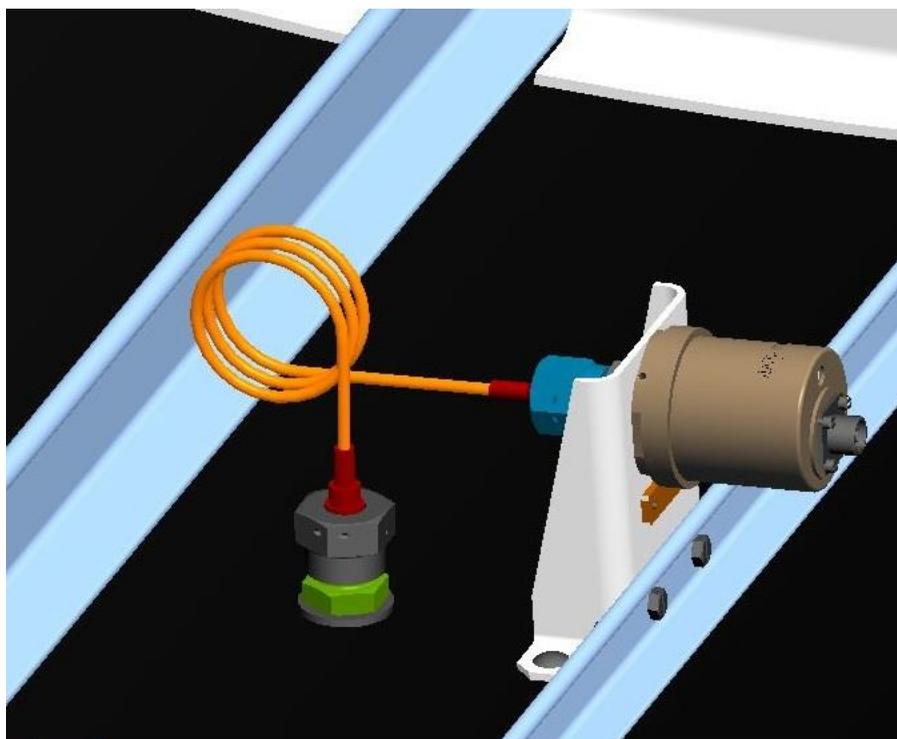


Рисунок 62 – Крепление датчика давления

На рис. 63 представлен другой вариант крепления датчика давления. Здесь датчик установлен на пружинном подвесе для компенсации вибраций, передаваемых с каркаса отсека.

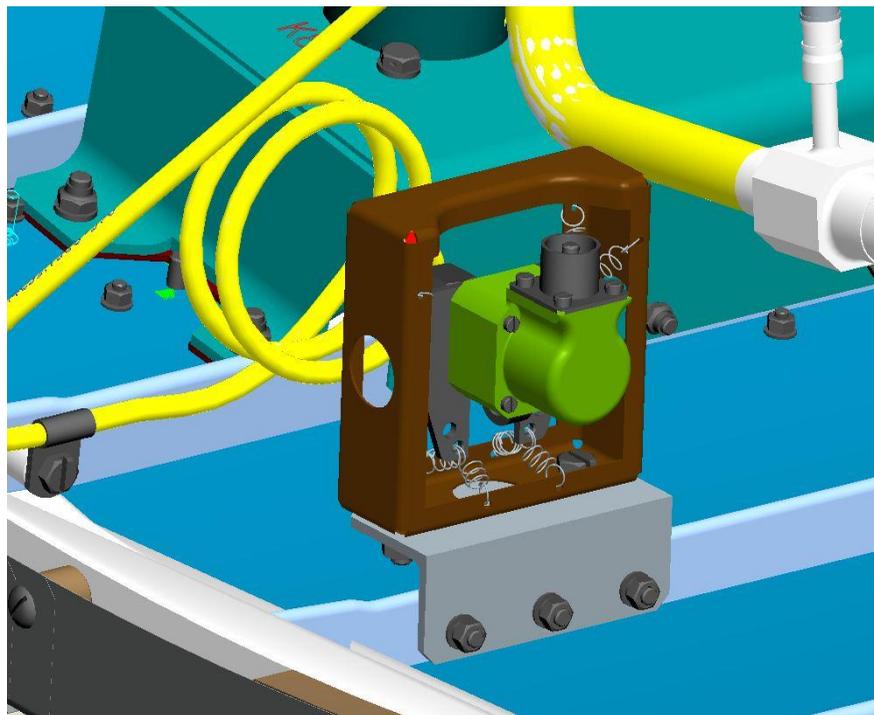


Рисунок 63 – Крепление датчика давления

В тех случаях, когда необходима защита аппаратуры от повышенной или пониженной температуры, ее устанавливают с применением теплозащиты (экраны, термомосты и т.п.) На рис. 64 приведен пример монтажа прибора с применением шайб из стеклотекстолита между платой и каркасом. Низкая теплопроводность стеклотекстолита позволяет исключить охлаждение прибора при работе изделия в космосе.

Особые требования предъявляют к монтажу приборов системы управления, имеющие в своем составе гироскопы (рис. 65). Основное требование при монтаже таких приборов – точность привязки осей приборных систем координат к осям РН 5-6 угловых минут. Поэтому необходимо обес-

печить возможность регулировки ориентации прибора на изделии. Для обеспечения этих требований он был установлен на специальную массивную платформу с оребрением для обдува снизу. Платформа имеет две степени свободы для регулировок. Третья степень свободы получена возможностью поворачивать прибор на самой платформе.

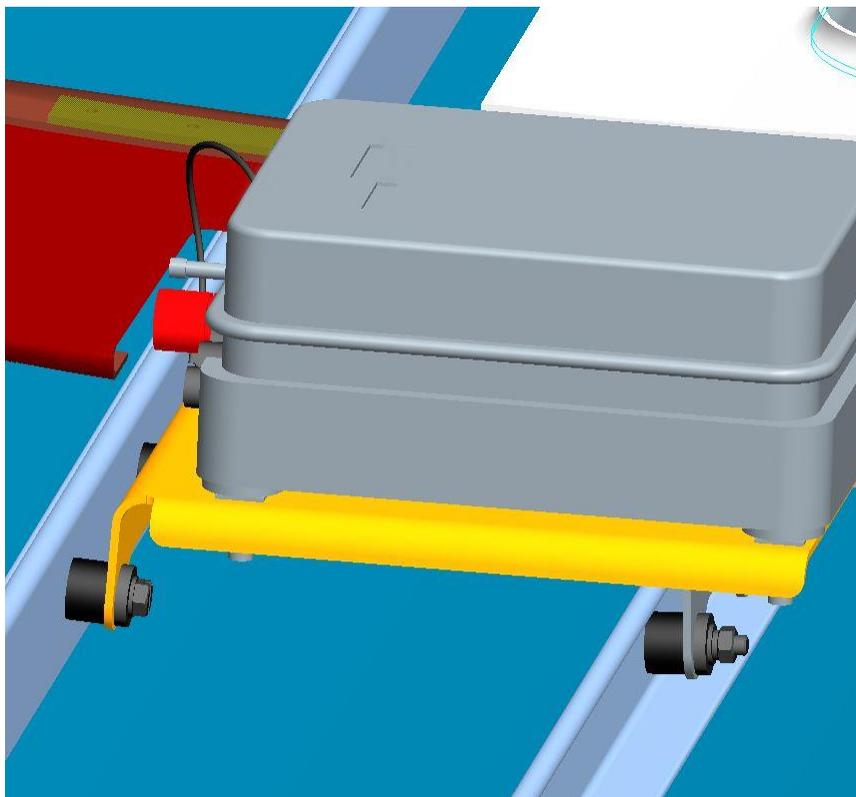


Рисунок 64 – Монтаж прибора с применением теплозащиты

Подобным образом выполнен монтаж датчика линейных ускорений, изображенный на рис. 66. Его кронштейн позволяет производить регулировку ориентации прибора по трем осям, обеспечивая требуемую точность установки на изделии.

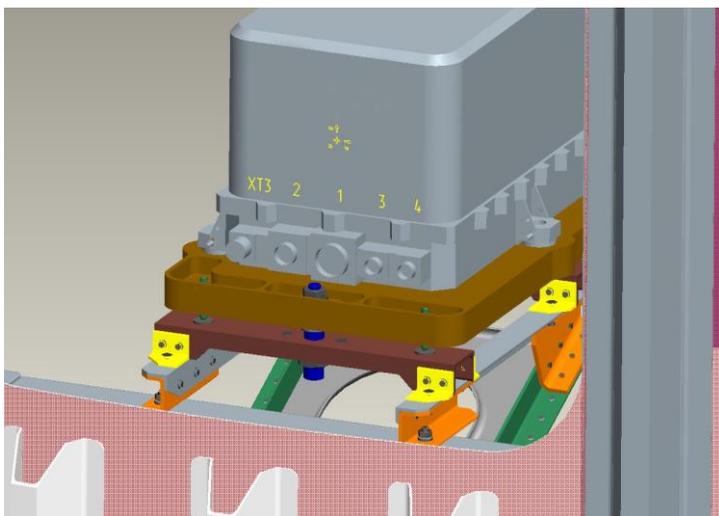


Рис. 65 – Монтаж приборов системы управления

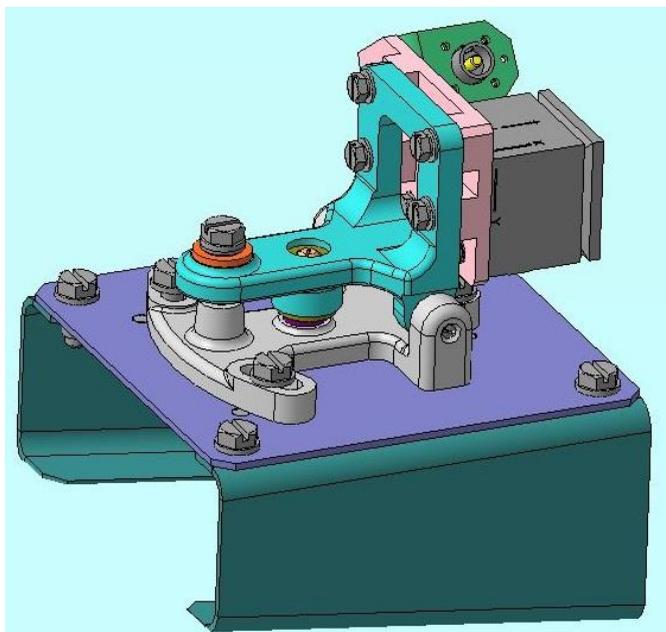


Рисунок 66 – Монтаж акселерометра

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юмашев, Л. П. Устройство ракет-носителей (сухие отсеки и топливные баки) [Текст]: учеб. пособие. – Самара:Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 1995. – 57 с.
2. Юмашев, Л. П. Устройство ракет-носителей (вспомогательные системы) [Текст]: учеб. пособие / Л. П. Юмашев. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 1999. – 190 с.
3. Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов [Текст]: учебник для студентов вузов. / Б.В. Грабин, О.И. Давыдов, В.И. Жихарев [и др.] ; под ред. В.П. Мишина, В.К. Карраска. – М.: Машиностроение, 1991. – 416 с.
4. Голубев, И. С. Проектирование конструкций летательных аппаратов [Текст]: учебник для студентов вузов / И.С. Голубев, А.В. Самарин. – М.: Машиностроение, 1991. – 512 с.
5. Грабин, Б.В. Основы конструирования ракет-носителей космических аппаратов [Текст] / Б.В. Грабин, О.В. Давыдов., В.И. Жихарев. – М.: Машиностроение, 1991. – 416 с.
6. Баллистические ракеты и ракеты-носители [Текст]: учеб. пособие для вузов / [О. М. Алифанов и др.]; под ред. О. М. Алифанова. – М.: Дрофа, 2004. – 511 с.
7. Инженерные методы проектирований конструкций корпусов ЛА и их отсеков [Текст] / под ред. И.С. Голубева. – М.: МАИ, 1987. – 80 с.
8. Каргин, Н.Т. Конструкция и проектирование изделий ракетно-космической техники. Ч. 1. Конструирование изделий ракетно-космической техники: электронное учебное пособие / Н.Т. Каргин, В.В. Волоцув. – Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева. – Самара, 2012. – 163 с.
9. Конструкция управляемых баллистических ракет [Текст] / под ред. А. М. Синюкова и Н. И. Морозова. – М.: Воениздат, 1969. – 444 с.
10. Леонов, В.И. Расчет баков ЛА на прочность и устойчивость [Текст] / В.И. Леонов. – Куйбышев: КуАИ, 1990. – 72 с.

11. Основы проектирования летательных аппаратов (транспортные системы) [Текст] / [В. П. Мишин и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 360 с.
12. Основы проектирования летательных аппаратов (транспортные системы) [Текст]: учеб. пособие / [В. К. Безвербый и др.]; под ред. А. М. Матвеевко, О. М. Алифанова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 375 с.
13. Основы авиа- и ракетостроения [Текст]: учеб. пособие: [для вузов по направлению «Ракетостроение и космонавтика»] / [А.С. Чумадин и др.]. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 991 с.
14. Карраск, В.К. Проектирование конструкций летательных аппаратов (Выбор основных проектных решений и параметров) [Текст]: учеб. пособие / В.К. Карраск. – М.: МАИ, 1987. – 84 с.
15. Карраск, В.К. Проектирование конструкции космических летательных аппаратов [Текст] / В.К. Карраск, С.К. Шаевич. – М.: МАИ, 1987. – 79 с.
16. Проектирование управляемой баллистической ракеты [Текст]: учеб. пособие по курсу «Основы ракетно-космической техники» / А.В. Астрахов, Н.Н. Генералов, С.Д. Панин [и др.]. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 54 с.
17. Сердюк, В.К. Проектирование средств выведения космических аппаратов [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.К. Сердюк; под ред. А.А. Медведева. – М.: Машиностроение, 2009. – 504 с.
18. Тарасов, В. А. Теоретические основы технологии ракетостроения [Текст]: учеб. пособие / В.А. Тарасов, Л.А. Кашуба; под ред. В.А. Тарасова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 350 с.
19. Теоретические основы авиа-и ракетостроения [Текст]: учеб. пособие / [А.С. Чумадин и др.]. – М.: Дрофа, 2005. – 783 с.
20. Тестоедов, Н. А. Проектирование и конструирование баллистических ракет и ракет-носителей [Текст]: учеб. пособие / Н.А. Тестоедов, В.В. Кольга, Л.А. Семенова. – Красноярск : СибГАУ, 2014. – 307 с.

Учебное издание

*Баранов Дмитрий Александрович,
Еленев Валерий Дмитриевич*

**ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ
В ПРОЕКТИРОВАНИИ И КОНСТРУИРОВАНИИ
ЭЛЕМЕНТОВ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ**

Учебное пособие

Редактор Т.К. К р е т и н и н а
Компьютерная верстка Л.Р. Д м и т р и е н к о
Оформление обложки И.И. С п и р и д о н о в а

Подписано в печать 11.08.2020. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печ. л. 7,0.
Тираж 100 экз. Заказ № 120.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34

Издательство Самарского университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

