

В. Б. КАТАНСКИЙ — ПРОЕКТИРОВАНИЕ
БАЛОННО-ТАКЕЛАЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЛОННО-ТАКЕЛАЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ОБОЛОЧЕК ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Инж-мех. В. В. КАТАНСКИЙ

ОНТИ • НКТП • СССР • 1936

Инж.-мех. *Дорогой! Нам*
имеет *первый*
соедин
В. В. БАТАНСКИЙ

Бро
28-8-36
п. Мещеряков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЛОННО-ТАКЕЛАЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ОБОЛОЧЕК ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Утверждено Управлением учебных заведений
Аэрофлота в качестве учебного пособия для ДУБ
им. К. Э. Циолковского



ОНТИ НКТП СССР

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ АВИАЦИОННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА

1936

ЛЕНИНГРАД

Книга дает последовательное описание проектирования баллонно-такелажных конструкций сферических и привязных аэростатов, мягких, полужестких и жестких дирижаблей. В начале книги сделан обзор технологии баллонного и такелажного производства и даны основные сведения по деформациям тканей и материй.

Специальный раздел посвящен вопросу проектирования газовых и воздушных клапанов и систем воздухопитания воздушных судов.

В приложении даются некоторые повторительные сведения по технологии баллонно-такелажных материалов.

В соответствующих разделах приводятся статистические сведения по весовым и некоторым другим характеристикам осуществленных конструкций.

Книга предназначена в качестве учебного пособия для студентов старших семестров и дипломантов ДУК, а также для инженеров и техников, работающих в области воздухоплавания.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие		5
Общие сведения о баллонно-такелажных деталях конструкции воздушных судов		7
 Раздел I. Баллонное производство, такелажные работы и рабочие чертежи баллонно-такелажных конструкций		
1.	Операции баллонного производства	11
2.	Операция пробраковки	11
3.	Изготовление шаблонов	14
4.	Раскрой	19
5.	Сборка полотнищ	22
6.	Сборка оболочки	25
7.	Изготовление деталей	27
8.	Такелажные работы	28
9.	Рабочие чертежи баллонно-такелажных конструкций	30
 Раздел II. Деформации материй и оболочек и экспериментальные исследования этих деформаций		
1.	Геометрические деформации тканей	35
2.	Нормальные характеристики баллонных материй	36
3.	Касательные характеристики баллонных материй	40
4.	Влияние деформаций материи на форму оболочек	42
5.	Деформации баллонов, наполненных воздухом	44
6.	Деформация баллона, наполненного газом	48
7.	Определение формы поперечных сечений	49
8.	Напряжения и деформации оболочек	52
9.	Экспериментальное исследование деформаций оболочек	55
10.	Практика гидростатических испытаний	61
 Раздел III. Проектирование свободных сферических аэростатов		
1.	Применение сферических аэростатов	75
2.	Составные части сферических аэростатов	75
3.	Классификация сферических аэростатов и нормы	78
4.	Вес и оборудование сферических аэростатов	79
5.	Расчет и раскрой сферического аэростата	80
6.	Расчет сети сферического аэростата	89
7.	Расчет и конструкция поясной подвески	91
8.	Расчет вспомогательных агрегатов аэростата	97
9.	Статистические данные	102
10.	Заключение	103
 Раздел IV. Проектирование привязных аэростатов		
1.	Основные требования к привязным аэростатам	105
2.	Силы, действующие на привязной аэростат	108
3.	Раскрой и расчет оболочки	110

§ 4.	Расчет и конструкция пояса и такелаж	120
§ 5.	Расчет и конструкция управления клапаном, разрывного и т. д.	123
§ 6.	Расчет и конструкция аэростатов с переменным объемом	127
§ 7.	Описание типовых конструкций привязных аэростатов	130

Раздел V. Проектирование матерчатых частей мягких дирижаблей . . . 142

§ 1.	Расчет и раскрой оболочки	142
§ 2.	Определение деформаций оболочки	153
§ 3.	Выбор материи и конструкция оболочки	162
§ 4.	Проектирование баллонетов	165
§ 5.	Проектирование диафрагм	176
§ 6.	Проектирование подвески	181
§ 7.	Конструкция подвески	190
§ 8.	Крепление оперения и прочие детали	207
§ 9.	Статистические данные и типовые конструкции	214

Раздел VI. Проектирование баллонно-такелажной части полужестких дирижаблей . . . 221

§ 1.	Выбор схемы поперечного сечения	221
§ 2.	Определение форм поперечного сечения	226
§ 3.	Раскрой и конструкция оболочек	238
§ 4.	Проектирование диафрагм	244
§ 5.	Проектирование баллонетов	251
§ 6.	Проектирование катенарий и внутренней подвески	259
§ 7.	Обтяжка кормового развития, киля и крепление оперения	271
§ 8.	Последовательность проектирования оболочек	280
§ 9.	Полумягкие дирижабли и дирижабли типа Форланини	284

Раздел VII. Проектирование матерчатых конструкций жестких дирижаблей . . . 291

§ 1.	Проектирование газовых баллонов	291
§ 2.	Наружные обтяжки жестких дирижаблей	294

Раздел VIII. Газовые и воздушные клапаны и оборудование оболочек воздушных судов . . . 299

§ 1.	Роль клапанов и понятие об их проектировании	299
§ 2.	Расчет клапанов	300
§ 3.	Кинематика клапанного механизма	306
§ 4.	Конструкция типовых газовых клапанов	315
§ 5.	Конструкция воздушных клапанов	331
§ 6.	Расположение и установка клапанов	334
§ 7.	Расчет и конструкция воздухопровода	336

Приложение. Конструктивные свойства баллонно-такелажных материалов . . . 348

§ 1.	Конструктивные свойства хлопчатобумажных тканей	348
§ 2.	Конструктивные свойства шелковых тканей	350
§ 3.	Конструктивные свойства льняных тканей	350
§ 4.	Характеристики специальных тканей	351
§ 5.	Прорезинка материй	352
§ 6.	Характеристики прорезиненных материй	358
§ 7.	Лакированные материи	361
§ 8.	Болорюшированные материи	364
§ 9.	Конструктивные данные ниток	365
§ 10.	Конструктивные данные веревочного такелаж	367
§ 11.	Конструктивные данные стальных тросов	370
§ 12.	Вспомогательные детали	371

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая работа является систематизацией литературного и практического материала по проектированию баллонно-такелажных конструкций воздушных судов. По своей тематике работа соответствует программе курса, читавшегося автором в Дирижаблестроительном учебном комбинате, и кругу вопросов, разрабатывавшихся баллонными группами конструкторских бюро по проектированию дирижаблей.

Книга рассчитана на студентов старших семестров ДУК и инженерно-технический персонал, работающий в области воздухоплавания.

При составлении этой книги предполагалось знание читателем общей архитектуры воздушных судов, основных вопросов механики полета и специальной технологии баллонных материалов, включающей теорию деформации тканей и методику их экспериментальных исследований.

В книге не разобраны некоторые опубликованные методы, но наряду с достаточно подробным описанием практически применяемых методов в тексте имеются ссылки на литературные источники, из которых могут быть получены дополнительные сведения.

Основными источниками для данной работы по соответственным разделам служили:

1) Р. Гаас и А. Дитциус «Растяжение материи и деформация оболочек мягких воздушных кораблей», перевод Н. Г. Захарова, 1931 г.;

2) Upson and Chandler «Free and captif Ballons» и

3) Blakemore and Pagon «Pressure airships».

Библиографического списка использованной литературы здесь не приводится, так как перечень советской и иностранной воздухоплавательной литературы весьма подробно опубликован в известной воздухоплавательным работникам книге Н. В. Лебедева «Дирижабли».

В заключение я приношу свою благодарность редактору книги инж. П. Т. Калиновскому за помощь в моей работе и ряд ценных замечаний по отдельным вопросам. Также благодарю инж. И. И. Баякина за просмотр раздела «Проектирование привязных аэростатов».

Инж.-мех. В. Катанский.

Ноябрь 1935 г., г. Москва

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О БАЛЛОННО-ТАКЕЛАЖНЫХ ДЕТАЛЯХ КОНСТРУКЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Конструкция любого современного дирижабля может быть разделена на две основные части, резко отличающиеся как по применяемым материалам, так и по методам расчета и конструирования, а именно: баллонно-такелажные и металлические конструкции.

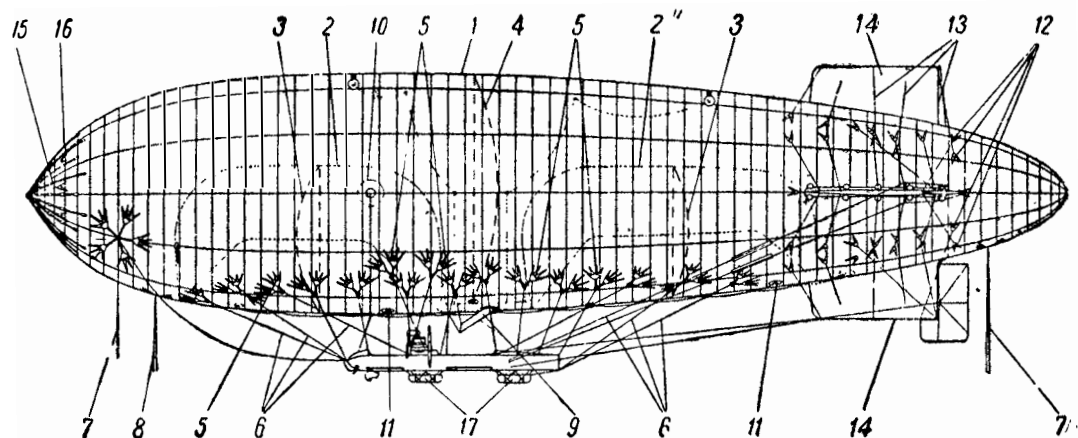
Номенклатура и значение баллонно-такелажных конструкций могут значительно изменяться в зависимости от типа дирижабля, но каждый тип современного дирижабля за исключением проекта цельно-металлического дирижабля Циолковского содержит в себе те или иные элементы баллонно-такелажных конструкций.

В мягких (фиг. 1) и полумягких дирижаблях к баллонно-такелажным конструкциям относятся следующие части: газовая оболочка, являющаяся корпусом судна; баллонеты с перегородками; газовые диафрагмы; крепление подвески гондолы; такелаж подвески гондолы; швартовый и бивачный такелаж за исключением гайдропного устройства; система воздухопитания; приспособления для газонаполнения и опорожнения; газовые клапаны; воздушные клапаны; крепление и расчалка поверхностей оперения; крепление носового усиления; контрольные приспособления оболочки; амортизаторы; балластные мешки.

В полумягких дирижаблях крепление и такелаж подвески гондолы заменяются или поясом крепления гондолы, как это сделано в судне СССР-В1, или креплением короткой внутренней фермы к боковым катенариям и к системе внутренней подвески, присоединенной к поясу с катенариями в верхней части оболочки, как у дирижаблей Гудира.

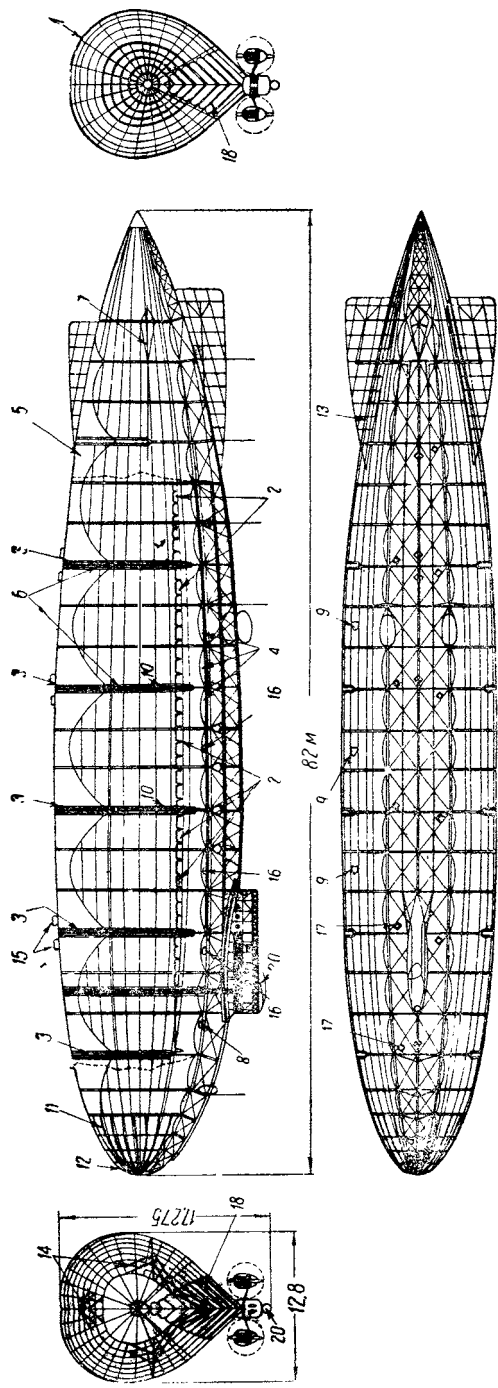
В мягких и полумягких дирижаблях значение оболочки очень велико, так как она является не только газоместителем, но и корпусом судна, т. е. воспринимает на себя внешние нагрузки и несет органы управления.

Номенклатура баллонно-такелажных частей полужесткого дирижабля (фиг. 2) следующая: оболочка 1; баллонет 2; газовые диафрагмы 3; внешние катенарии 4; пояса внутренних катенарий 5; внутренняя подвеска 6; покрытие кормового развития 7; система воздухопитания 8; газовые аппендиксы 9 и газопроводы 10; крепление 11 носового купола; покрытие 12 носового купола; установка 13 и расчалка 14 оперения; газовые клапаны 15; впускные 16 и выпускные 17 воздушные клапаны; контрольные приспособления оболочки; об



Фиг. 1. Дирижабль ТС-1:

1 — сама оболочка, 2' — носовой баллонет, 2'' — кормовой баллонет, 3 — перегородка баллонета, 4 — газовая диафрагма, 5 — лапы подвески, 6 — стропы подвески, 7 — поясные веревки, 8 — швартовые веревки, 9 — улавливатель, 10 — газовый клапан, 11 — воздушный клапан, 12 — крепление расчалки оперения, 13 — расчалки оперения, 14 — стабилизаторы, 15 — трубы носового усиления, 16 — крепления носового усиления, 17 — амортизаторы гондолы.



Фиг. 2. Дирижбль N-2.

тяжка 18 килевой фермы; швартовые приспособления; амортизаторы 20; балластные мешки (иногда ставятся металлические).

Баллонно-такелажные части в конструкции жесткого дирижабля играют уже значительно меньшую роль и являются в основном лишь газоместителями и обтяжками. Номенклатура их следующая: газовые баллоны; сеть баллонных проволок; наружная обтяжка; приспособления для газонаполнения; газовые клапаны; балластные мешки; амортизаторы.

В цельнометаллических дирижаблях типа ZMC-2 баллонеты и их питание являются баллонными конструкциями. Сюда относятся: сами баллонеты с перегородками; воздухопровод; воздушные клапаны; газовые клапаны; контрольные приспособления оболочки; газопроводы и апендиксы; газовые диафрагмы (в крупных судах).

В двух типах воздухоплавательных аппаратов баллонно-такелажные конструкции играют основную роль — в свободных и привязных аэростатах. В самом деле, только корзина свободного или привязного аэростата является деталью, не относящейся к баллонно-такелажным конструкциям.

Проектирование баллонно-такелажных конструкций распадается на следующие основные части: предварительное определение основных размеров и очертаний; расчет на прочность и определение деформаций; конструктивное оформление и экспериментальная проверка расчета или конструкции. Необходимость такого деления вызывается особыми, часто противоречивыми конструктивными требованиями и особенностями применяемых материалов. Так, при проектировании оболочек, кроме требований прочности и минимального веса, приходится выполнять еще требования минимальной газопроницаемости и эксплуатационной выносливости (срока службы), что заставляет иногда идти на преувеличение расчетных запасов прочности.

Специфические особенности деформации баллонных материй и сложность теоретического определения деформаций оболочек выдвигают часто на первое место экспериментальные методы. Поэтому проектирование баллонно-такелажных конструкций требует ясного представления об этих методах.

Тут следует отметить, что, к сожалению, экспериментальное изучение баллонных конструкций как за границей, так и у нас в Союзе находится еще в стадии разработки его методики.

То же можно сказать и относительно теоретического изучения этого вопроса, где отсутствует самое важное, а именно — проверка в натуре теоретических расчетов. Это может быть объяснено тем, что дирижаблестроение до настоящего времени не выходило из стадии полукустарных работ, поэтому все сделанные до сих пор работы чаще относятся к какому-либо конкретному объекту, чем представляя собой последовательное изучение общих проблем.

Раздел I

БАЛЛОННОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ТАКЕЛАЖНЫЕ РАБОТЫ И РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ БАЛЛОННО-ТАКЕЛАЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

§ 1. ОПЕРАЦИИ БАЛЛОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В настоящем разделе не затрагиваются вопросы организации, оборудования, нормировки баллонного производства и т. д., а даются лишь общие представления о производственном процессе и выясняются требования, предъявляемые баллонным производством к рабочим чертежам.

Баллонное производство состоит в основном из заготовки большого числа однотипных деталей и затем сборки их в целый агрегат, достигающий подчас значительных размеров и веса, каковым является оболочка современного дирижабля. Окончательное выявление качества изготовленной оболочки возможно только после ее газонаполнения и окончательной сборки, когда всякие более или менее радикальные переделки связаны с полным разоружением судна. Все это заставляет конструктора с большой осмотрительностью относиться к чертежам как с точки зрения их качества, так и с точки зрения удобства производства по этим чертежам. Без ясного представления о производственном процессе выполнить эти требования, безусловно, нельзя.

Баллонное производство можно разбить на следующие основные этапы: 1) пробраковка материи и наложение заплат; 2) изготовление шаблонов; 3) раскрой и разметка трапеций или полотнищ; 4) склейка и сшивка трапеций или полотнищ; 5) изготовление деталей и усилений; 6) сборка оболочки; 7) контроль и просмотр собранной оболочки.

Все эти операции имеют ряд специфических особенностей и должны быть рассмотрены более подробно.

§ 2. ОПЕРАЦИЯ ПРОБРАКОВКИ

Как процесс прорезинки, так и качество исходных перкалей не могут гарантировать постоянства качеств готовой материи. Перед поступлением в баллонный цех каждый кусок материи должен пройти стандартное испытание, о результатах которого составляется свідельство. Стандартное испытание состоит из определения: веса 1 м² материи; ее газопроницаемости по водороду (определяемой у нас

на приборе Шекспира); прочности и относительного удлинения по основе и утку параллельного и диагонального слоев; это испытание рекомендуется производить на машине Шоппера с электрическим приводом. Результаты этих испытаний позволяют судить о соответствии предъявленного куска материи установленным техническим условиям. Различные дефекты исходных перкалей, а также недостатки прорезинки, дают местные дефекты материи. Перед пуском в производство каждый кусок материи должен быть просмотрен для определения этих дефектов, их исправления или отметки.

В некоторых производствах при просмотре (браковке) материи ограничиваются лишь разметкой дефектных мест, производя их исправление уже на раскроенных деталях. Хотя этот способ и дает некоторую экономию, так как часть дефектных мест оказывается в обрезках, все же более правилен тот метод, когда прибывший из прорезинки кусок, проходя лабораторное испытание, сразу пробраковывается, дефектные места исправляются, и кусок поступает на цеховой склад уже совершенно готовым к производству.

Такой способ, более удобный с точки зрения планирования работы, дает гарантию того, что материал, хранящийся в цеховом складе, целиком может быть пущен в производство. В практике встречались случаи, когда из 600 м материи, прошедшей лабораторные испытания, 400 м были забракованы при просмотре вследствие многочисленных «мертвых складок». Этот дефект происходит из-за разладки шпрендинг-машин и плохого контроля прорезинки.

Браковка материи может производиться различными способами. Наиболее простой способ заключается в следующем. Рулон материи, намотанный на специальную деревянную катушку, закладывается в стойку так, что он может вращаться на штырях, вставленных в катушку. Стойка с рулоном ставится у торца раскройного стола. Материя с рулона раскатывается на длину стола (10—15 м) внутренней стороной вверх. Работницы, производящие браковку, двигаясь по обеим сторонам стола, переходят от одного конца рулона к другому, просматривая поверхность материи и отмечая черным или красным (не химическим) карандашом все места с дефектами. При обнаружении дефекта, не поддающегося исправлению, как например мертвые складки длиной более 100 мм, с обеих сторон дефекта проводятся линии на всю ширину материи, и делается пометка «на вырезку». Просмотрев таким образом раскатанную материю по всей длине, работницы наматывают ее на катушку, положенную в стойку с противоположного торца стола, и продолжают ту же операцию с новой раскатанной частью куска. После просмотра внутренней стороны материи производится осмотр лицевой (внешней) стороны. На внешней стороне отметки дефектов, подлежащих исправлению, не производятся, отмечаются лишь части куска, подлежащие вырезыванию и отмеченные уже при просмотре внутренней стороны. Перенос отметок о вырезке на внешнюю сторону необходим, как будет указано ниже, для разметки на материи шаблонов.

Разметка дефектов, подлежащих исправлению, производится с внутренней стороны, потому что и заплаты для исправления этих дефектов накладываются всегда с внутренней стороны материи. Это делается не только из эстетических соображений, но и вследствие того

что наложенные с внешней стороны заплаты могли бы быть легко повреждены при работе с оболочкой, подвергались бы непосредственным атмосферным воздействиям и их наклейка требовала бы дополнительной работы по зачистке алюминиевого покрытия. Кроме того, внешний слой ткани обычно имеет диагональные слои, а исправление местных дефектов, понижающих прочность ткани, для этих слоев не имеет такого значения, как для основных параллельных слоев.

Описанный способ браковки имеет ряд существенных недостатков, и его применение объясняется исключительно тем, что он не требует никакого оборудования за исключением длинного стола и двух стоек для рулонов, являющихся необходимым оборудованием баллонного цеха. Недостатки этого способа следующие. Осмотр материи (много-слойной) производится только снаружи и, следовательно, дефекты внутреннего слоя ткани остаются незамеченными. Однообразный тон материи и внешняя незначительность дефектов при недостаточном освещении, а также при утомлении работниц, могут привести к пропуску дефектов. Сама по себе работа, при которой работницам, производящим браковку, приходится ходить вдоль стола, перегибаться для просмотра середины куска, перекатывать рулон сразу на 10—15 м, получается довольно длительной.

Значительно лучшие по качеству результаты при затрате меньшего рабочего времени дает браковка с помощью просвечивания. Принцип браковки с помощью просвечивания заключается в том, что материя помещается между лицом, производящим браковку, и достаточно сильной электрической лампой. Две лампы по 150 W, помещенные непосредственно за материей, вполне обеспечивают просвечивание трехслойной алюминированной материи. Браковщик, находящийся в затемненном помещении, легко может обнаружить не только ткацкие дефекты тканей, например узлы, утолщения нити, рядины и т. д., но даже колебания в толщине слоя прорезинки, определяющиеся по изменению степени освещенности. Некоторый опыт позволяет определить, в каком слое ткани находится данный дефект, а применение лупы еще больше повышает качество просмотра. Незаметные при поверхностном осмотре «булавочные проколы» материи обнаруживаются сразу при просвечивании в виде светящихся точек.

Столы для просвечивания бывают горизонтальные и вертикальные. Горизонтальный стол имеет вставленное в верхнюю доску стекло, под которым установлены электролампы. Ширина стекла должна соответствовать ширине материи (1350—1400 мм) при длине в 1000—1200 мм. Для складывания рулонов по торцам стола должны иметься соответствующие кронштейны.

Вся установка помещается в затемненной комнате. Горизонтальные столы довольно компактны и удобны для производства разметки, но их неудобство заключается в том, что браковщику приходится ходить вокруг стола или необходимо иметь двух браковщиков, по одному с каждой стороны стола.

Несколько более сложную конструкцию имеет вертикальный браковочный стол. Стекло устанавливается вертикально, и позади его помещается коробка с электролампами. Кронштейны для укладки рулонов помещаются один над стеклом, а другой ниже его. При бра-

Ковке материя перематывается с верхнего рулона на нижний. Необходимо наличие устройства, препятствующего проникновению света от ламп за кромками материи. Вертикальный стол, так же как и горизонтальный, должен быть помещен в затемненной комнате. При стекле тех же размеров (1350—1400 × 1000—1200 мм) вертикальный стол обслуживается одним браковщиком, сидящим перед стеклом.

Устройство браковочных столов с просвечиванием несложно, стоимость их невелика, а ускорение браковки и повышение ее качества настолько значительны, что, по нашему мнению, браковка с просвечиванием должна быть введена в баллонном производстве в обязательном порядке.

После разметки дефектов материя поступает на наклейку заплат. Для этой операции материя разворачивается на столе на длину 10—15 м внутренней стороной кверху. Работницы, проходя вдоль рулона по обеим сторонам стола, намазывают резиновым клеем отмеченные места, вырезают из однослойной материи заплаты по размеру отмеченных мест и также намазывают их клеем. Для заплат применяют исключительно однослойную материю, так как редко больше одного слоя ткани имеет повреждения в одном месте. Нормально наложение заплат утяжеляет материю на 20—30 г/м².

После того как работницы прошли вдоль раскатанной части рулона и намазали отмеченные места, эта операция повторяется еще один или несколько раз в зависимости от густоты применяемого клея. Длину раскатанной части желательно выбирать так, чтобы к тому времени, как работницы пройдут вдоль всей размотанной части, клей на первых отметках успевал полностью высохнуть. Когда последний слой клея полностью высохнет, на отмеченные места накладываются заплаты и плотно прикатываются роликом. Таким же образом операция продолжается на следующей части рулона.

§ 3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШАБЛОНОВ

Каждая оболочка, как будет описано ниже, состоит из многочисленных одинаковых по форме полотнищ, иногда в свою очередь разделяемых на отдельные трапеции. Число трапеций для больших оболочек может превышать 1000 штук.

От точности и однообразия размеров полотнищ и трапеций зависит правильность формы оболочки. Производить разметку полотнищ или трапеций непосредственно на самой материи крайне затруднительно, точность такой разметки будет недостаточна, а затрата времени квалифицированными разметчиками слишком велика. Поэтому необходимо даже для несерийных объектов предварительно изготавливать шаблоны, по которым в дальнейшем и производят кройку материи. Чтобы дать представление о размерах шаблонов, можно указать, что оболочка мягкого дирижабля объемом 6500 м³ состоит из 12 полотнищ, разделенных каждое на 62 трапеции. Длина такого полотнища приблизительно 64 м, а ширина 3,5 м. Оболочка полужесткого дирижабля объемом 18 500 м³ состоит из 35 отдельных полотнищ длиной 106 м.

Шаблоны изготавливаются по теоретическим чертежам раскроев, дающих кривую очертания полотнища по пробитым на них ординатам.

По причинам, указанным ниже, ординаты располагаются на неравных интервалах по оси полотнища. При трапецидальном раскрое полотнище разбивается на трапеции через интервалы по оси, равные ширине материи и равные между собой, причем края трапеций обычно не совпадают с пробитыми на чертеже ординатами.

Изготовление шаблонов может производиться различными способами в зависимости от принятого раскроя и условий производства. В основном можно различать следующие два метода изготовления шаблонов: вырезывание размеченных на картоне шаблонов (принят у американцев, а также на наших заводах) и разметка шаблонов на столе с переносом разметки на материю при помощи наклеенного шнура и копировальной бумаги (принят в Италии). Для изготовления шаблонов из картона обычно применяют плотный рулонный картон толщиной от 2,5 до 3,5 мм. Картон, разостланный на полу мастерской, склеивается по длине и ширине соответственно размерам размечаемого на нем полотнища, обклеивается с одной стороны бракованной однослойной материей и приклеивается по краям к полу. Шаблоны для серийных объектов обклеиваются материей с обеих сторон для предохранения картона от поломки при скручивании и перетаскивании. Перед приклейкой заготовленного куска к полу картон обычно выдерживают неприклеенным 5—6 дней, чтобы он высох и вылежался.

Наклеиваемая материя не только предохраняет картон от износа, но и образует ровную поверхность, удобную для разметки карандашом.

Разбивка шаблона заключается в построении кривой очертания полотнища по теоретическому чертежу. Для этого на шаблоне прежде всего пробивают продольную ось полотнища. При шаблоне длиной в 50—60 и до 70 м нанесение оси возможно с помощью туго натянутой нитки, намазанной мелом или углем. Намеченная таким образом прямая обводится карандашом по правильной линейке длиной не менее 1500—2000 мм. Пробивка оси должна производиться с большой точностью, так как от этого зависит правильность формы оболочки. При изготовлении шаблонов длиннее 80 м пробивка оси с помощью нитки затруднительна и лучше прибегнуть к оптическому способу. Для этого помещают с одного конца шаблона какой-либо оптический инструмент, имеющий в трубе крест нитей, и устанавливают трубу горизонтально по направлению оси полотнища. Производящий разметку становится у инструмента, а его помощник, держа в руках отвес, двигается вдоль шаблона, останавливаясь через каждые 1,5—2 м. Нить отвеса приводится на центр креста нитей и на картоне отмечается положение острия отвеса. Полученные таким образом точки соединяются между собой по линейке или по нитке. Желательно захватывать каждый раз линейкой или ниткой не менее трех точек.

Полученную тем или иным способом ось размечают на интервалы согласно теоретическому чертежу. Абсциссы отсчитываются обычно на теоретическом чертеже от носа, поэтому во избежание накопления ошибок по длине шаблона необходимо сначала разбить ось на интервалы по 5 м с помощью правильной стальной рулетки длиной не менее 20 м, чтобы разгонку ошибок производить на интервалах через каждые 5 м. Такая разметка будет полезна и в дальнейшем, при нанесении на шаблон положения различных деталей оболочки. Ординаты теоре-

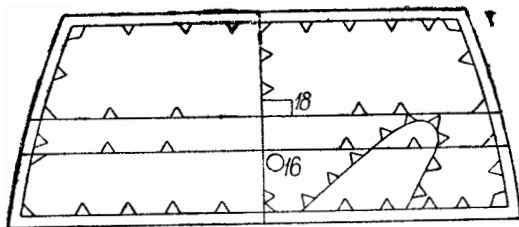
Тического чертежа соответствуют строевым линиям, по которым производится теоретическая разбивка оболочек. На шаблоне ординаты должны быть помечены теми же номерами, которыми на теоретическом чертеже оболочки помечены строевые. Для разметки ординат краев полотнищ из точек разметки абсцисс на оси восстанавливаются перпендикуляры по обе стороны оси. Ввиду значительных размеров шаблонов применение даже больших угольников не обеспечивает достаточной точности разметки и наиболее правильным является построение перпендикуляра по засечкам с помощью штангенциркуля с растворением его на 1200—2500 мм. Ординаты должны размечаться по проверенному стальному метру с точностью до 0,5 мм. Полученные таким способом точки соединяют плавной кривой, проводя ее по гибкой деревянной рейке. Кривую надо проводить не менее чем через 7—8 точек, захватывая также приблизительно на 1—1,5 м ранее проведенную кривую. При проведении кривой нельзя допускать местных выгибов рейки для захвата случайно отклонившихся точек, так как от плавности кривой зависит правильность формы оболочки.

На теоретическом чертеже обычно указываются геометрические размеры полотнища. Поэтому, кроме кривой теоретической формы полотнища, на шаблоне нужно нанести припуск на пересклейку. Обычно ширину продольной пересклейки (шва) прибавляют с обеих сторон полотнища, для чего к каждой ординате прибавляют половину ширины пересклейки и по этим точкам проводят новую кривую, определяющую раскройные размеры полотнища. Кроме того, откладывая половину ширины пересклейки по направлению от теоретической кривой к оси полотнища, получают новый ряд точек, через которые проводят кривую, определяющую ширину зачистки для пересклейки. Построив обвод полотнища, приступают к разметке на нем деталей, которые должны быть наклеены на оболочку при ее изготовлении: поясов, труб носового усиления, установки оперения, лап и т. д.

Положение деталей координируется на чертежах и размечается на шаблонах расстоянием от ближайшей строевой по оси полотнища и расстоянием по перпендикуляру от оси полотнища. При этом около детали должна быть надпись, указывающая, на каком полотнище должна стоять эта деталь и как должен накладываться шаблон. Например, для оболочки из 12 полотнищ, нумеруемых от верхнего полотнища по часовой стрелке, деталь, стоящая на полотнище № 5 и размечаемая на шаблоне положением «право», т. е. лицевой стороной вверх, будет размечаться на симметричном полотнище № 9 «лево», т. е. шаблоном, положенным лицевой стороной на материю. После разметки усиленный полотнище разбивают на трапеции, откладывая по оси раскройную ширину материи без припуска на пересклейку. На шаблоне проводят не только границы трапеций, но обязательно и ее среднюю линию, у которой ставится номер трапеции. Для того чтобы сразу можно было различить номер трапеции от номера строевой, номер строевой ставится обычно в круге, а номер трапеции в квадрате или прямоугольнике.

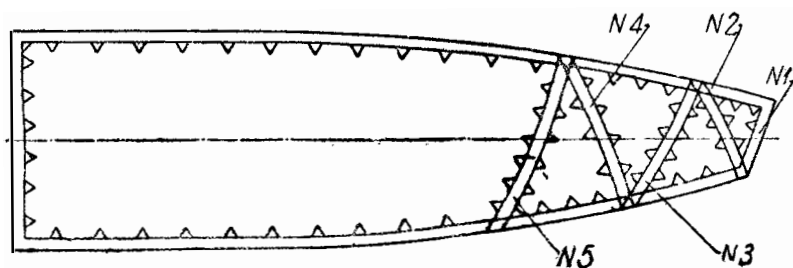
После этого шаблон обрезается по внешней кривой и разрезается в поперечном направлении на трапеции (фиг. 3). Внутренняя кривая пересклейки, строевые, оси трапеций, ось полотнища, контуры разме-

ченных деталей прорезаются для разметки треугольниками или полукругами через интервалы в 200—300 мм. Около строевой на оси полотнища прорезается круг, а у точки пересечения оси полотнища с осью трапеции квадрат или прямоугольник. Для получения ширины пересклейки с одной стороны трапеции, обычно кормовой, подклеивается полоса картона по ширине пересклейки, вдоль же другой производится разметка ширины зачистки под пересклейку. Все надписи, сделанные на правой стороне шаблона, а также контуры размеченных деталей, переносятся на левую сторону, и шаблон после проверки считается законченным.



Фиг. 3. Трапеция шаблона оболочки

При трапецеидальном раскрое поперечные швы в соседних полотнищах смещаются относительно друг друга на полуширину трапеции. Поэтому приходится заготавливать два шаблона, разрезанных на различные трапеции. Один из шаблонов служит для четных полотнищ, другой для нечетных. Для ускорения работы, а также для получения более однообразных размеров, в этом случае склеивают кромками



Фиг. 4. Шаблон полотнищ торца баллонета.

два слоя картона. Всю разметку оси полотнища, строевых, внешней кривой, а также разбивку на трапеции производят на верхнем шаблоне, перенося затем разметку на нижний. Закончив и срезав верхний шаблон, его снимают, соединяют соответственно между собой точки, наколотые на нижнем шаблоне, и производят разметку деталей.

Шаблоны диафрагм, баллонетов и т. д. изготавливаются подобным же образом. Если деталь представляет собой правильную геометрическую фигуру, пересекающуюся по какой-то кривой с другим телом, то изготавливают шаблон одного полотнища, представляющий собой геометрическую развертку поверхности, размечают на нем линии среза других полотнищ и проставляют у этих линий номера соответственных полотнищ (фиг. 4). Шаблоны мелких деталей также вырезают из картона.

Изготовление из картона шаблонов, представляющих собой чертеж в натуру, дает много удобств для серийного производства, так как шаблоны могут применяться и храниться долгое время и не требуют для своего изготовления никаких приспособлений, кроме ровного пола, площадь которого достаточна для изготовления шаблона.

Однако применение шаблонов из картона имеет и существенные недостатки. При меридианальном раскрое, когда полотнище не разрезается на трапеции, а кроится из целого куска, обращение с шаблоном длиной свыше 50 м становится затруднительным. Вследствие гибкости шаблона, при накладывании его на материю для раскроя приходится его ось проверять по нити и выправлять. Стоимость шаблона, включая стоимость картона, материи для его обклейки и затраты рабочей силы, особенно на пробивку отверстий для разметки, весьма значительна. Поэтому с целью удешевления шаблонов для небольших объектов изготавливают шаблон, состоящий из одной миделевой трапеции, на которой размечают все остальные трапеции. Но это возможно только тогда, когда все размеры, нанесенные на шаблоне, сняты с чертежа полотнища в натуру, разбитого на плазу, и на оболочке не имеется большого числа деталей. В противном случае нельзя быть уверенным в плавности очертания полотнища, а большое количество деталей затемнит шаблон и затруднит разметку.

При раскрое оболочки по усеченным конусам (метод, принятый в Америке) шаблоны также изготавливаются из картона, причем для каждой трапеции отдельно. В этом случае большое затруднение представляет проведение дуг окружностей радиусом до 100 м, для чего приходится прибегать к различным вспомогательным вычислениям и построениям.

Как было указано выше, в Италии для изготовления шаблонов принят другой метод. Известно, что оболочки итальянских дирижаблей раскраиваются меридианальным раскроем из целых полотнищ, не разбитых на трапеции. Следовательно, приходится работать с шаблонами длиной до 100 м, что крайне неудобно. Для изготовления шаблонов по итальянскому способу требуется наличие в мастерской длинных столов с ровной, гладкой поверхностью. Длина стола должна соответствовать длине шаблона (порядка 80—100 м), ширина же может не превышать 1,5—2 м, так как наибольшая ширина шаблона равна ширине применяемой материи.

На поверхности стола производится разбивка шаблона, т. е. оси полотнища, строевых, внешней и внутренней кривых очертания полотнища, теми же методами, что и разбивка шаблона на картоне. Затем на карандашные линии на столе наклеивается лентой из однослойной материи шпагат, чем и заканчивается изготовление шаблона. Если шаблон разбивается на столе, покрытом цинковыми листами, как это часто делается в баллонном цехе, то вместо шпагата на стол наплавляется тонкая медная проволока. Разметку деталей на шаблоне можно не производить, так как оболочки полужестких дирижаблей имеют сравнительно мало вспомогательных деталей, а такие части, как пояса для труб носового усиления, обычно наклеиваются на соответствующее место оболочки после газонаполнения. Стоимость такого шаблона, если не считать крупных затрат на изготовление столов,

очень невелика и состоит почти исключительно из стоимости рабсилы. Один и тот же стол может, конечно, служить для нескольких шаблонов, так как карандашная разметка на нем сохраняется и только требуется переклеить шпагат.

Описанный способ приготовления шаблона был применен у нас в Союзе при изготовлении оболочки полужесткого дирижабля и дал хорошие результаты. При наличии в мастерской гладкого, ровного пола разметка шаблона по итальянскому методу может производиться непосредственно на полу.

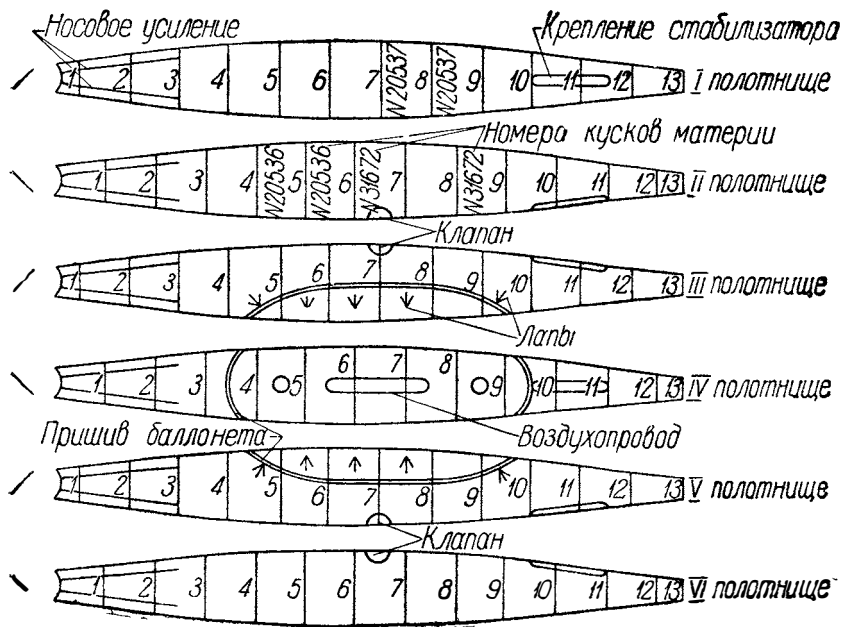
§ 4. РАСКРОЙ

Под названием «раскрой» здесь подразумевается часть баллонного производства, распадаящаяся на следующие отдельные операции: разметка шаблона на материи, кройка, зачистка пересклеек и дополнительная разметка перед склейкой. При применении картонных шаблонов разметка производится следующим образом. На раскатанный кусок материи (лицевой стороной вверх) накладывается шаблон так, чтобы он не захватывал мест с пометками «на вырезку». Шаблон очерчивается по кромкам и по вырезкам наносятся контуры усиления или деталей. Также отмечаются номера трапеций, строевых и полотнища. Сняв шаблон, проводят по линейке линии, намеченные вырезками: зачистку под пересклейку, строевые, ось полотнища, оси трапеции, а также обводят контуры деталей.

Шаблоны оболочек мягких судов имеют обыкновенно большое число нанесенных деталей, относящихся к различным полотнищам, так что разметка их на соответствующих трапециях бывает затруднительна, несмотря на маркировку. Поэтому для облегчения разметки кройщицы пользуются так называемой раскройной схемой (фиг. 5), представляющей условную развертку оболочки, разбитую на пронумерованные полотнища и трапеции со схематически нанесенными на них наложенными деталями. Выкроив какую-либо трапецию, кройщица сейчас же отмечает на соответствующей трапеции схемы фабричный номер материи, из которого выкроена эта трапеция. Такая схема с разметкой номеров кусков дает кройщице возможность вести учет раскроенных трапеций. Завизированная начальником или техноруком баллонного цеха схема является документом, прилагаемым к формуляру судна и дающим возможность приемщику устанавливать по свидетельствам об испытании кусков материи соответствие материи техническим условиям. При повреждениях оболочки такая схема позволяет установить связь между обнаруженным дефектом и качеством поставленной материи.

Американская фирма Гудиер применяет несколько другой метод кройки оболочек привязных аэростатов. Шаблоны изготавливаются по теоретическим размерам, причем разбивка на трапеции всех полотнищ одинакова (не в шахматном порядке) и поэтому необходим только один комплект шаблонов. Предварительно пробракованную материю раскатывают на длину в 15 м во столько слоев, из скольких полотнищ состоит оболочка. На материи раскладывают шаблоны так, чтобы получить наибольшую экономию материала, и очерчивают их каран-

дажом, после чего размечают припуск на пересклейку. Все слои положенной материи разрезают одновременно механическим ножом. Обычно применяют электрический нож типа «Аджиль», имеющий два чрезвычайно острых лезвия, движущихся с большой скоростью взад и вперед. Нож обводят по очерченным линиям вручную. На вырезанных трапециях производят монтажную разбивку. Такой способ раскроя при серийном производстве дает значительную экономию во времени, но не может быть применен для оболочек, имеющих большое количество наложенных деталей, так как все равно почти каждая трапеция требует в этом случае индивидуальной разметки.



Фиг. 5. Раскройная схема оболочки дирижабля.

При кройке по итальянским шаблонам материя раскатывается по шаблону, и разметка переносится на материю с помощью копировальной бумаги. Для получения разметки с обеих сторон нужно подкладывать копировальную бумагу и между шаблоном и материей. Недостатком этого способа является возможность загрязнения материи копировальной бумагой и получение линий разметки значительной толщины. Кройка меридианальных полотнищ по картонным шаблонам не представляет каких-либо особенностей за исключением того, что после наложения шаблона на материю необходимо произвести проверку и выправление его оси.

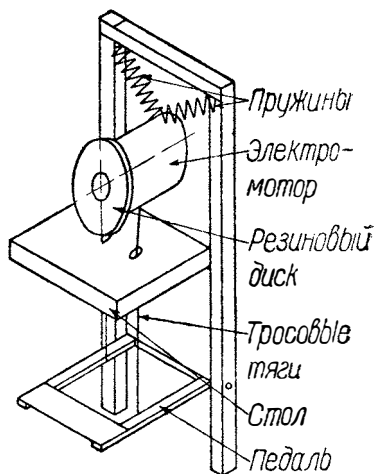
Раскроенные полотнища или трапеции поступают затем на зачистку, если они выкроены из алюминированной материи. Зачистка заключается в удалении алюминированного покрытия с мест, подлежащих склеиванию, для того чтобы клей лучше прилипал к материи. За-

чистка должна производиться без повреждений и деформирования материи.

Самый распространенный способ зачистки заключается в стирании алюминиевого покрытия вручную кусками резины. Этот способ очень медленен и трудоемок, но зато сохраняет прочность материи и не вызывает ее деформаций. Протирание материи тряпкой, смоченной в бензине, ускоряет и облегчает эту операцию, но злоупотребление бензином легко может нарушить прочность тканей и вызвать расслаивание материи. Значительное ускорение этой работы достигается с помощью приспособления для зачистки кромок, предложенного одним из работников баллонного цеха Дирижаблестроя. Приспособление (фиг. 6) состоит из электромотора вентиляторного типа,двигающегося в направляющих рамки, к которой он подвешен на пружинах. На оси электромотора насажен диск, набранный из кругов листовой резины. Тягами от ножной педали мотор может оттягиваться книзу и прижимать диск к материи, расположенной на опорный стол. Быстро вращающийся диск стирает алюминиевое покрытие.

Трение диска вызывает нагревание материи и растягивает кромку, но при известном навыке можно получить вполне удовлетворительные по качеству результаты при значительной экономии времени. Произведенные в баллонном цехе испытания швов, зачищенных вращающимся диском и вручную, не показали понижения прочности от механической зачистки. Это приспособление очень удобно для зачистки кромок, но его применение для зачистки мест под детали затруднительно ввиду стационарности всего приспособления. По литературным данным фирма Гудиир применяет для зачистки металлические щетки, что легко может привести к повреждению материи и требует исключительно осторожной работы.

При зачистке нанесенная раньше разметка пересклейки и деталей почти полностью уничтожается и должна быть восстановлена. Контуры деталей размечаются или с помощью вторичного накладывания шаблона или обводятся по специально сделанным шаблонам этих деталей. Вторичная разметка монтажных линий (строевых, осей или специальных отметок) должна производиться с большой тщательностью, без которой теряется весь смысл точности изготовления шаблона. Так же тщательно должна быть размечена пересклейка. Для разметки пересклейки применяются или выпиленные из железной пластинки шаблонки или специальные разметочные ролики. Как видно на фиг. 7, разметочная шаблонка представляет подобие гребенки, пропилены которой сделаны на определенном расстоянии один от другого. Вставляя в соответствующий пропил карандаш и прижимая

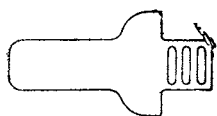


Фиг. 6. Приспособление для зачистки швов (схема).

заплевки к кромке материи, обводят трапецию, отмечая пересклейку. Разметка по разметочной шаблонке не отличается большой точностью и позволяет наметить только одну пересклейку без линий строчек, центральной линии и т. д.

Разметочный ролик (фиг. 8) состоит из оси, на которую насаживаются разметочные диски, валика с краской и рукоятки. Диски имеют различную вырезку поверхности катания, так что можно проводить осевые, пунктирные и штриховые линии. С помощью шайб различной толщины и дисков с различными рисунками можно набирать любую комбинацию разметки шва с нанесением не только ширины пересклейки, но и линий строчек, центральной и т. д. Такая разметка значительно облегчает и уточняет дальнейшие операции по склейке и прошивке.

Необходимо ввести, как правило, взвешивание отдельных раскроенных и зачищенных трапеций перед их поступлением на дальнейшую склейку. Такой подробный весовой журнал, фиксирующий изменение



Фиг. 7. Разметочная шаблонка.



Фиг. 8. Разметочный ролик.

веса деталей после каждой операции, дал бы богатый материал конструктору по весам швов, лент и т. д. С другой стороны, этот журнал при заранее установленном погонном весе шва дал бы возможность вести контроль за правильностью методов склеивания.

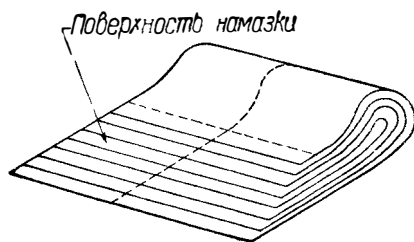
§ 5. СБОРКА ПОЛОТНИЩ

Отдельные детали матерчатых конструкций соединяются между собой посредством склейки и прошивки. Склейка производится резиновым клеем, т. е. раствором каучука в бензине или бензоле. В зависимости от консистенции раствора клей называется жидким или густым. Зачищенные поверхности перед нанесением клея слегка протираются тряпочкой, смоченной бензином.

Опасность разрушения бензином ткани или внутренних слоев резины заставляет некоторые производства отказываться от промывки бензином и заменять ее нанесением первого слоя жидкого клея. Применение того или иного способа следует устанавливать опытным путем в зависимости от навыков производящего склейку и качества материи и клея. Дальнейшее намазывание (от 2 до 4 раз) производится густым клеем, причем число намазываний зависит от качества клея и также устанавливается опытным путем. Нужно только помнить, что назначение клея заключается в сцеплении между собой волокон

нитей двух соединяемых тканей и, следовательно, недостаточный или излишний слой клея в равной степени ухудшают качество склейки. Излишнее намазывание опасно не только вследствие увеличения веса, но и тем, что клей в этом случае не соединяет, а разделяет волокна ткани и при сдвиге полностью воспринимает на себя все срезающие усилия, легко допуская сползание шва.

Клей наносят на материю или вручную, втирая его в материю ребром ладони и большим пальцем, или с помощью достаточно жесткой плоской щетинной кисти. При ручной намазке клей лучше втирается в ткань, но равномерный слой клея получается только при достаточном навыке и аккуратной работе. Длительная работа с клеем вредно влияет на руки работников, вызывая трещины и загрубение кожи. Намазка кистью дает более равномерное покрытие, не требует большой опытности работников, сохраняет руки чистыми, но не дает такого втирания клея в ткань, какое достигается при намазывании клея опытной работницей вручную. Но так как трудно получить однородность качества работы на швах, длина которых у больших дирижабельных оболочек достигает нескольких километров, то безусловно следует отдать предпочтение способу намазывания клея с помощью кисти, как дающему более однообразные результаты.



Фиг. 9. Трапеции, сложенные для намазки

На качество склейки большое влияние оказывают температура и влажность воздуха помещения баллонного цеха. Энергичное испарение бензина при высыхании нанесенного на шов слоя клея, естественно, вызывает значительное понижение температуры на поверхности клея и, следовательно, конденсацию водяных паров, если воздух имеет повышенную влажность. Эта пленка конденсированной влаги препятствует схватыванию наложенных слоев клея между собой, так что швы, склеенные в сыром помещении, свободно расклеиваются руками, без отдираания нанесенного слоя клея. Низкая температура воздуха в помещении баллонного цеха сильно замедляет процесс высыхания клея, особенно во внутренней части слоя, и тем самым также значительно понижает прочность склейки. Воздух помещения баллонного цеха должен постоянно иметь температуру 18—20° С и относительную влажность не выше 65%.

Нанесение каждого последующего слоя клея должно производиться только после полного высыхания предыдущего слоя, склейка же должна производиться тогда, когда последний слой только что перестал быть липким.

При сборке полотнищ из трапеций трапеции одного и того же полотнища накладываются для намазки последовательно одна на другую (фиг. 9) так, чтобы выступала только пересклейка, и намазывание всех трапеций производится одновременно. При такой укладке автоматически покрывается клеем только ширина пересклейки.

После нанесения клея трапеции поочередно снимаются и склеиваются между собой, причем склеенные места тщательно прокатываются металлическим роликом. При соединении нужно следить за точным совпадением разметки оси полотнища и ширины пересклейки. Смещение или излом нанесенной оси полотнища безусловно недопустимы.

Контроль качества склейки производится следующим образом. При раздирании вручную шва весь слой клея должен попеременно сохраняться то на одной, то на другой стороне материи, оставляя совершенно обнаженную от клея ткань. Само раздирание должно производиться с значительным усилием. При испытании на разрыв стандартных образцов шириной в 50 мм на машине Шопера с механическим приводом склеенные и прикатанные швы без строчек и лент должны давать для материи с прочностью 1000—1200 кг/м при ширине пересклейки в 15 мм и для материи с прочностью 2000—2300 кг/м при ширине пересклейки в 25 мм 100% образцов, рвущихся по целой материи, без признаков начала сползания шва.

Склеенные трапеции поступают на сшивку. Сшивка оболочек производится цепным швом на швейных машинах хлопчатобумажными или шелковыми нитками. Тип нитки устанавливается обычно конструктором; выбор того или иного типа указан ниже. При производстве необходимо следить за тем, чтобы класс применяемой иглы соответствовал принятому типу ниток. Применение более толстых игл облегчает шитье, но дает большие проколы, не заполненные ниткой, что повышает газопроницаемость шва, а иногда и нарушает прочность соединения благодаря прорубанию иглой нитей ткани. Прошивка должна быть равномерная, с числом стежков от 2,5 до 3 на 1 см строчки. При прошивке необходимо строго придерживаться нанесенной разметки, так как обычно крайний шов располагается от кромки пересклейки на расстоянии 5 мм, а проведенные испытания показали, что даже при трехслойной материи образцы, прошитые (не проклеенные) на расстоянии 3 мм от кромки, рвутся от выдирания ниток из материи. При применении шелковых ниток, согласно американским данным, желательно их слегка смачивать в глицерине.

Для баллонного производства могут применяться швейные машины различных фирм и типов: Зингер, Дюркоп, Кенион «Спешиал» и др. Для работ с оболочками наиболее удобны колонковые машины или машины с длинным рукавом. Машины должны иметь индивидуальный электромотор и быстро действующий тормоз. Значительное ускорение в работе дают двух- или трехигольные машины. Помимо ускорения, многоигольные машины значительно повышают качество работы постоянным расстоянием между строчками и дают возможность прошить все строчки за один проход материи через машину, что очень благоприятно для материи, сильно изнашивающейся от сминания, перетаскивания и т. д.

Многоигольные машины имеют постоянное расстояние между строчками, обычно равное 8; 10; 8 и 8; 10 и 10 мм. Это необходимо принимать во внимание, назначая расстояния между швами, чтобы не заставлять производство при наличии многоигольчатых машин вести работу более медленным способом на одноигольных машинах.

Особенно нужно об этом помнить при конструировании швов для соединения крупных деталей (баллонетов, диафрагм и т. д.) с оболочкой, когда через машину нужно протаскивать для сшивания большие отдельные части оболочки.

При контроле прошивки следует обращать внимание на натяжение ниток при сшивке: при чрезмерно большой скорости шитья нитки могут получить столь значительное натяжение, что начнут лопаться при малейшей деформации оболочки.

Собранное из трапеций полотнище после склейки и прошивки должно быть взвешено, для того чтобы, зная вес отдельных трапеций и длину поперечных швов, можно было определить вес 1 м склейки. Поперечные швы собранного полотнища после прошивки заклеиваются лентами. Число и ширина лент указываются на чертеже, но обычно для швов газовых оболочек применяют покрытие из одной наружной и двух внутренних лент. Перед наклеиванием лент шов промазывается, обычно два раза, сама же лента, изготовленная из липкой материи, не промазывается. При намазке клея нужно строго соблюдать отмеченную ширину ленты, отходя от нее на 1—2 мм, чтобы обеспечить полное прихватывание кромок ленты. Излишняя ширина намазывания дает лишнее утяжеление и загрязняет оболочку. Ленты должны быть наложены плотно, ровно, тщательно (особенно кромки) и прикатаны роликом; это препятствует отставанию ленты и обеспечивает газонепроницаемость шва. Ленты поперечных швов должны доходить до линии продольной пересклейки, чтобы их концы перекрывались лентами продольных швов.

После прикатки внутренние ленты во избежание склеивания при складывании оболочки припудриваются тальком; наружные ленты (если оболочка изготовлена из алюминированной материи) припудриваются алюминиевой пудрой. Применение для зачистки потеков клея из-под лент, так называемых «жигалок», должно быть категорически воспрещено, так как рядом опытов установлено, что такая зачистка вызывает значительное понижение прочности материи. После накладки лент желательно также производить взвешивание полотнищ для определения веса наложенных лент и клея, пошедшего на их приклеивание.

§ 6. СБОРКА ОБОЛОЧКИ

Полотнища с полностью законченными поперечными швами соединяются между собой. При раскрое из меридианальных полотнищ сборка полотнищ из трапеций отпадает сама по себе, и сборка оболочки является операцией, следующей за кройкой и зачисткой.

Процесс соединения полотнищ посредством склейки и сшивки совершенно аналогичен соединению трапеций, и главный интерес представляет установление порядка и последовательности сборки.

Такие детали, как баллонеты, диафрагмы и т. д., собираются сначала по частям, из которых составляется целый агрегат. Так например, потолок и торцы баллонета собираются сначала отдельно, а затем соединяются вместе. Основным требованием сборки любой детали является строгое соблюдение монтажных разметок соединяе-

мых полотнищ, без чего при склеивании длинных полотнищ, начиная работу с одного конца полотнища, можно подойти к другому концу со значительной невязкой, разогнать которую без полной переделки всей работы невозможно. При отсутствии указаний по монтажной разметке на чертежах необходимо нанести на шаблон хотя бы через произвольные расстояния метки и требовать переноса этих меток на полотнища при кройке.

Порядок сборки самой газовой оболочки, т. е. последовательность присоединения к ней деталей, определяет собой порядок сборки полотнищ. При установлении порядка сборки сначала нужно выяснить, как предполагается устанавливать различные мелкие детали: клапанные горловины, аппендиксы, пояса и др. — до или после сборки оболочки. Наиболее удобен тот способ, при котором детали, установленные на одном полотнище, наклеиваются на полотнище до его соединения с соседними, а в дальнейшем полотнища группируются так, чтобы можно было наклеивать детали на минимальное количество собранных вместе полотнищ. Например, группировку полотнищ оболочки мягкого дирижабля типа ДМ-2 (СССР-В2), имеющего подвесную гондолу, можно представить следующим образом. Верхние полотнища группируются так, чтобы можно было произвести наклейку бивачного пояса, одновременно наклеивая пояса и лапы расчалок верхнего стабилизатора и часть поясов носового усиления. Экваториальные полотнища группируются так, чтобы можно было наклеить установку горизонтальных стабилизаторов, клапанных горловин и часть поясов труб носового усиления. Полотнища, на которых располагаются лапы подвески, группируются вместе. На нижнее полотнище устанавливаются воздухопровод, установки баллонетных клапанов, пояса нижнего стабилизатора и носового усиления. Эти группы соединяются между собой опять-таки в такой последовательности, чтобы можно было наклеивать разрывные полотнища, захватывающие две первоначальные группы, до тех пор, пока они образуют две половины оболочки, разделенные по шву, идущему сейчас же над линией пришива баллонета. Такой способ сборки дает значительные удобства как при постановке деталей, так и при сшивке продольных швов.

В нижнюю часть собранной оболочки вклеиваются и вшиваются баллонеты и нижняя часть диафрагм. При вклеивании внутренних деталей часто бывает затруднительно пользоваться монтажной разбивкой, нанесенной по шаблону, так как в процессе производства материя самой оболочки и вклеиваемых в нее деталей может получить значительное растяжение. В этом случае необходимо произвести разметку по месту, промеряя длину линии пришива по оболочке и по вклеиваемой детали. Нужно помнить, что все внутренние детали должны быть присоединены к оболочке с посадкой, т. е. длина линии пришива по детали должна быть больше, чем по оболочке. Это необходимо для того, чтобы при деформации оболочки линия пришива не создавала местной жесткости, а свободно следовала за растяжением материи оболочки. Посадка должна быть равномерной, и поэтому желательно производить разметку на оболочке через 1 м. Порядок сборки оболочки в том случае, если мелкие детали наклеиваются после сборки, принципиально ни чем не отличается от приведенного

выше метода, но имеет смысл только в том случае, если число деталей невелико и часть из них наклеивается уже после газонаполнения, как это имеет место у оболочки полужестких судов.

После вклеивания баллонета обе половины оболочки сшиваются с одной стороны и производится присоединение диафрагм. Последний шов оболочки прошивается обычно через какие-либо отверстия (апендиксы, клапанные горловины и т. д.), расположенные на ближайших полотнищах, но внутренние ленты могут быть наложены только при наполнении оболочки воздухом.

Работы по сборке полотнищ из трапений и группировке полотнищ производятся обычно на столах, являющихся основным оборудованием баллонного цеха. Сборка же самой оболочки, т. е. соединение групп полотнищ и вклеивание деталей, производится на полу, для чего цех должен обладать достаточной свободной площадью. Предложенные итальянскими специалистами, работавшими в Дирижаблестрое, небольшие подвижные столы, на которые материя поднимается и закрепляется с помощью струбцинок, значительно облегчают эту работу.

Во избежание возможных недоразумений во время сборки оболочки, должны быть составлены схемы, определяющие последовательность и ход отдельных операций. Такие схемы в отличие от раскройных называются монтажными. Ход сборки оболочки определяют, исходя из условий и навыков данного производства.

§ 7. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ

Совершенно отдельно от изготовления самой оболочки (газовой оболочки, диафрагм, баллонетов и т. д.) производится изготовление ее отдельных мелких деталей: лап, поясов, клапанных горловин и т. д. Эти детали в основном могут быть разделены на две группы: детали оборудования оболочки — апендиксы, шланги, клапанные горловины и т. п., и детали силовых элементов конструкции — лапы подвески, установка оперения, катенарии и т. п. Изготовление первой группы деталей не представляет никакой сложности. Шаблоны для раскраивания вырезают из картона, само изготовление — склейка и прошивка — производится обычным способом. Изготовление деталей второй группы иногда бывает довольно сложно. Наиболее просто изготовление всевозможных поясов, где к обычным операциям кройки, склеивания и прошивки добавляется простановка люверсов. Эта операция, состоящая из пробивания отверстий в материи и затем обжатия люверса с помощью специального приспособления в виде маленького винтового пресса, довольно кропотлива. При установлении шага люверсов на какой-либо детали конструктор должен помнить, что излишнее число (мелкий шаг) люверсов удорожает производство и усложняет сборку (шнуровку).

Более сложно изготовление всевозможных лап, состоящих из целого ряда отдельных деталей и усилений, наложенных друг на друга в определенном порядке. В некоторых случаях в конструкцию лап вводится целая или расплетенная веревка или стальной трос, требующий тщательной прошивки вручную.

Работа по изготовлению таких деталей всегда разбивается на ряд последовательных операций, во время которых должен производиться тщательный контроль. При прошивке таких деталей часто приходится применять нитки повышенной прочности и производить работу на швейных машинах тяжелого класса.

К этим деталям может быть отнесено изготовление наиболее ответственной части оболочки полужесткого дирижабля — внутренних и внешних катенарий. В материю с помощью ряда усиления заделывается стальной трос, и образуются узлы катенарий, также с значительным числом усиления. Заделка катенарий является сложной и ответственной работой и производится обычно специально подготовленной бригадой катенарщиц на полностью законченном, склеенном и сшитом полотнище до его присоединения к остальной оболочке.

§ 8. ТАКЕЛАЖНЫЕ РАБОТЫ

Такелажные работы на оболочках современных дирижаблей могут быть разбиты на две группы: а) работы с тросовым такелажем и б) работы с веревочным такелажем.



Фиг. 10. Заплетка троса.

Работы с тросовым такелажем сравнительно просты и сводятся в основном к заплетке концов тросовых строп на коушах в тех или других ушках или тандерах. Заплетка тросов

в дирижаблестроении производится исключительно вручную и, как всякая ручная работа, требует тщательного контроля. Жесткие тросы плохо поддаются заплетке, поэтому для всех ответственных деталей применяют исключительно мягкие тросы.

Заплетка производится следующим образом. Концы отмеренного участка троса отмечаются на нем перевязкой суровыми нитками. Отметка накладывается на середину коуша, и трос плотно огибается вокруг коуша. Свободный конец троса, имеющий помимо припуска на заплетку еще дополнительный припуск на затяжку в 250—300 мм, распускается на отдельные стренги. Чтобы избежать излишнего разматывания троса, место распускания закрепляют шпаговкой тонким шпагатом или суровыми нитками. Концы распущенных стренг для удобства работы обматываются изоляционной лентой. Разводя с помощью свайки стренги троса, в образовавшуюся петлю заводят распущенную стренгу и плотно затягивают ее. Вторую стренгу заводят под две следующие стренги переплетенного троса и т. д. Получив таким образом заплетку (фиг. 10) необходимой длины, срубают зубилом лишние концы распущенных стренг и плотно обшпаговывают всю заплетку тонкой (0,5-мм) латунной проволокой или тонким шпагатом с последующей лакировкой. Никакая пайка тросов в дирижаблестроении не допускается.

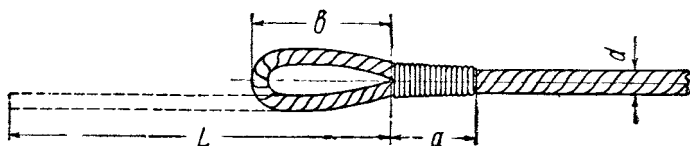
Длины заплеток для различных диаметров тросов установлены нормами ВСТ: 31СТ — 32СТ и 33СТ. Падение прочности в заплетке составляет от 10 до 28% (М. Абрагам, «Проволоки, одно- и много-стренговые тросы в самолетостроении»). Поэтому можно рекомендовать

принимать разрушающую нагрузку для заплетенного троса на 30% ниже разрушающей нагрузки для чистого троса.

Конечно, такое снижение прочности троса и соответственное утяжеление конструкции не может удовлетворять дирижабельного конструктора и заставляет изыскивать новые типы соединений тросов, с меньшей потерей прочности. Некоторые другие способы соединения тросов, пока еще не получившие у нас распространения, указаны ниже, при рассмотрении такелажных конструкций.

Следующим важным вопросом для конструктора является точность выдерживания длин заплетенных тросов. Как было указано выше, длина заплетенного троса отмечается обвязкой на тросе. Эта обвязка располагается на середине коуша и при производстве заплетки может быть легко сдвинута в ту или другую сторону. В силу этого точность выдерживания длин заплетенных тросов колеблется в пределах 5 мм, что и должно учитываться конструктором.

Работа с веревочным такелажом может быть разделена на три группы: заплетка концов, вязание узлов и вязание сетей. Поскольку в дирижаблестроении почти полностью отказались от веревочного такелажа, работа с различными веревками имеет теперь меньшее



Фиг. 11. Заплетка веревочной петли.

значение, сохраняясь только в производстве сферических и привязных аэростатов. Заплетка всевозможных поясных, бивачных и т. д. производится обычно или на костыльках, или на различных коушах и кольцах. Сами заплетки производятся так же, как для тросового такелажа, и обматываются тонким (и—2-мм) крученым шпагатом. Длины веревочных заплеток не нормализованы и должны устанавливаться практически в зависимости от типа применяемой веревки. Готовая заплетка показана на фиг. 11.

Понижение прочности веревки за счет заплетки может ориентировочно приниматься равным 30%.

Вязание узлов применяется для образования легко разъемных соединений деталей веревочного такелажа. Большинство применяемых узлов перешло в воздухоплавание из морского дела, сохранив морские названия.

Как и каждая ручная работа, вязание узлов требует определенного навыка и тщательности. Вследствие резких перегибов в узлах такие соединения имеют прочность меньшую, чем соединяемые веревки, но это понижение прочности не может быть установлено в общем виде и должно определяться для каждого данного типа узла и соединяемых веревок.

Плетение сетей производится с помощью специальных шаблонок, определяющих размеры ячеек. Эта работа, так же как и вязание

узлов, требует определенной квалификации рабочих и должна производиться с большой аккуратностью для получения прочной сети правильной формы.

§ 9. РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ БАЛЛОННО-ТАКЕЛАЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Отмеченные выше особенности баллонного и такелажного производства требуют определенных условностей чертежей. Баллонные чертежи могут быть разбиты на следующие типы: теоретические (или раскройные) чертежи, раскройные схемы, детальные чертежи, операционные чертежи, монтажные схемы.

Изготовление шаблонов является первой операцией баллонного производства, так же как изготовление теоретических чертежей, служащих для построения этих шаблонов, является первым этапом составления рабочих чертежей.

Теоретические чертежи изображают геометрическую развертку отдельных деталей (полотнищ) оболочек и должны иметь размеры, позволяющие построить по ним шаблон. Развертки полотнищ представляют плавные, часто симметричные, кривые, для построения которых необходимо фиксировать координаты точек, лежащих на этой кривой.

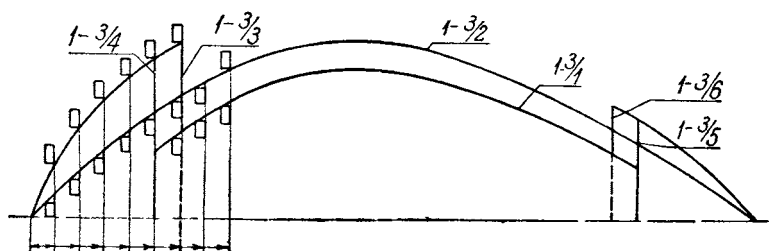
Теоретический чертеж оболочки разбивается через определенные интервалы по оси строевыми плоскостями, для которых тем или иным способом определяются теоретические радиусы поперечных сечений. Очевидно, что для построения развертки полотнища оболочки нужно знать длины дуг меридиана, принятого за ось полотнища, в интервалах между строевыми плоскостями и ширину полотнища в плоскости каждой строевой. Эти данные и являются исходными для построения теоретического чертежа развертки полотнища. За ось полотнища принимается распрямленная дуга меридиана, на которой расстояния между строевыми служат абсциссами точек кривой. Ординаты точек, являющиеся ширинами полотнищ в данном сечении, откладываются по перпендикулярам от концов соответствующих абсцисс. Для симметричных полотнищ достаточно вычерчивание одной половины полотнища.

Для чертежей раскроев оболочек, имеющих большую длину при сравнительно небольшой максимальной ширине, удобно применять итальянский способ черчения. Этот способ заключается в том, что масштабы чертежа по ординатам выбираются значительно большими, чем по абсциссам. Такой выбор масштабов, помимо сокращения размеров всего чертежа, дает возможность производить проверку плавности кривой очертания полотнища. Вследствие искажения масштабов кривая получает большую крутизну, и незначительные выпадения точек уже резко сказываются на ходе кривой. На одном и том же теоретическом чертеже раскроя обычно наносятся чертежи всех типов полотнищ, обозначаемые вынесенными позициями этих деталей. Так например, на фиг. 12 на одном чертеже нанесены: чертеж кругового полотнища (1—3/1), тангенциального (1—3/2), носовых дублированных (1—3/3) и (1—3/4) и кормовых дублированных (1—3/5) и (1—3/6)

для типового раскроя оболочки итальянского полужесткого дирижабля.

Если изготавливаются чертежи для какой-либо детали, состоящей из нескольких одинаковых полотнищ, но срезанных по разным линиям (например при раскрое торца баллонета), то делается чертеж самого большого полотнища, а на него наносятся и координируются линии среза для всех остальных полотнищ. Каждое полотнище номеруется своей позицией, отнесенной обычно к линии среза.

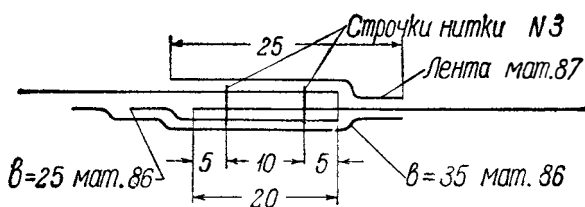
Очертания полотнищ наносятся по теоретическим линиям, без добавления на пересклейку. Ширина пересклейки устанавливается



Фиг. 12. Чертеж раскроя полотнищ оболочки полужесткого дирижабля.

по чертежу типового шва (фиг. 13), прилагаемому к тому же комплекту. На чертеже шва, помимо ширины пересклейки, указываются число и тип строчек, а также ширина, расположение и материалы лент, закрывающих строчки шва.

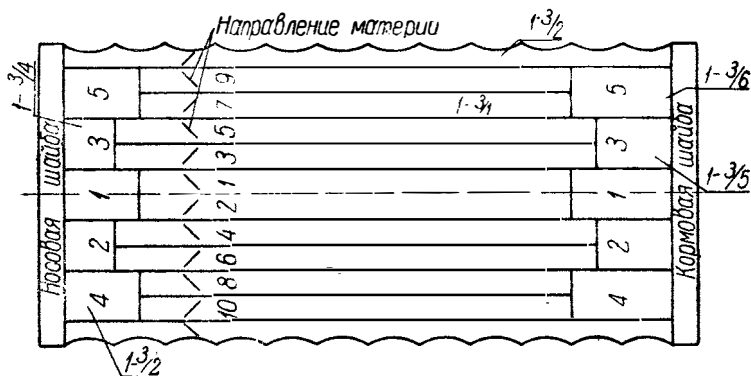
Для указания расположения отдельных полотнищ относительно друг друга применяются так называемые раскройные схемы. Раскройная схема представляет условную развертку на плоскость собранной оболочки. В некоторых случаях раскройная схема состоит из на-



Фиг. 13. Типовой чертеж шва оболочки.

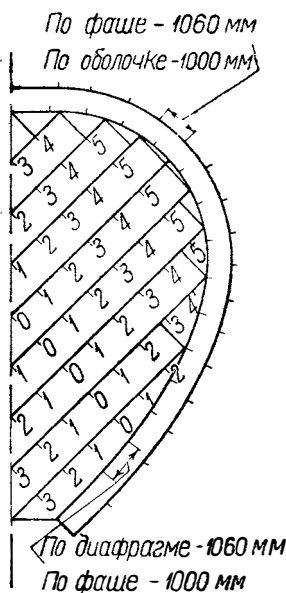
ходящихся один под другим чертежей полотнищ в условном масштабе. В итальянской практике полотнища раскроя условно изображаются в виде прямоугольников, соединяющихся между собой (фиг. 14). На раскройную схему наносятся также в условном масштабе все детали, наложенные на данную оболочку, и линии пришива других частей оболочки. Положение деталей координируется на схеме относительно оси соответствующего полотнища и ближайших строевых. Помимо указания взаимного расположения отдельных полотнищ, раскройная схема служит также для разметки фабричных номеров кусков материи, пошедших для изготовления данной оболочки. Эта разметка производится кройщиками в процессе их работы, что позволяет все время знать, какие именно детали уже раскроены.

Для изготовления всевозможных деталей оболочек — лап, апендиксов, усилений и т. д. — вычерчиваются чертежи всех этих деталей. Чертежи деталей изготавливаются по нормальным правилам черчения,



Фиг. 14. Раскройная схема оболочки итальянского типа.

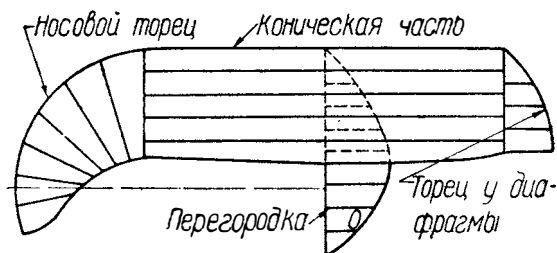
без каких-либо условностей за исключением того, что каждая деталь изображается лишь в одной проекции. Масштаб таких чертежей может выбираться сравнительно мелким, так как детали обычно имеют простое очертание, а излишняя величина чертежа затрудняет обращение с ним на производстве. При изготовлении чертежей деталей относительно больших размеров конструктор должен помнить о ширине применяемой материи и в случае необходимости разделять деталь на отдельные части или указывать на чертеже линии, по которым деталь должна быть составлена из отдельных частей. В случае необходимости на чертеже должно быть указано направление основы параллельного слоя материи. На чертежах деталей нужно также указывать разметку других деталей, соединяемых с данной, что в случае пришивки значительно облегчит сборку деталей в целый агрегат.



Фиг. 15. Монтажная схема диафрагмы.

Сборочные чертежи отдельных агрегатов баллонных конструкций — лап, катенарий, пришивов, усилений, выполненные по методам нормального машиностроительного черчения, часто не дают возможности полностью разобраться в конструкции агрегата и особенно в способе его изготовления. Так например, на сборочном чертеже нельзя изобразить прошивку какого-либо внутреннего троса без введения сложных и чисто услов-

должен представить себе весь процесс изготовления данного агрегата и разбить его на отдельные этапы. Каждый этап сборки данного агрегата изображается на отдельном чертеже, причем на чертежах указывается номер и содержание данной операции. Некоторые простые операции изображаются на одном и том же чертеже. Например, наклейка детали, ее прошивка и заделка строчек лентой изображаются на одном чертеже, но каждая операция оговаривается в пояснительной надписи на чертеже. Для некоторых сравнительно простых деталей все последовательные операции наносятся на одном и том же чертеже. На спецификационных чертежах обязательно должны быть проставлены позиции соединяемых деталей. Конструктор должен помнить, что изготовление операционных чертежей должно производиться только в случае действительной необходимости, так как излишнее нагромождение чертежей усложняет пользование ими.



Фиг. 16. Сборочный чертеж баллона дирижабля ДМ-2.

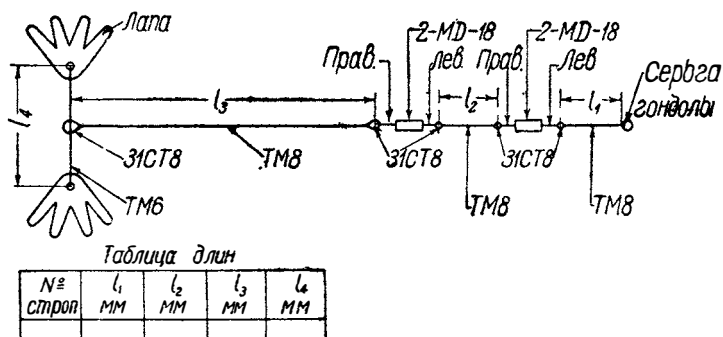
В баллонном производстве часто бывает, что линия соединения двух деталей имеет различную длину на каждой из этих деталей. Это применяется в тех случаях, когда конструктору необходимо получить «посадку» одной детали по другой, например при пришивке диафрагм к оболочке. Чтобы показать, что такая разница размеров не является случайной ошибкой, и обеспечить предусмотренную конструкцией посадку (не всегда одинаковую по всей длине соединения), применяются так называемые монтажные схемы. На этих чертежах (фиг. 15) детали изображаются в собранном виде, а по линии соединения указывается посадка одной детали по другой. Величина посадки указывается в процентах от длины соединяемых деталей.

В некоторых случаях указывается разметка одной детали через каждый метр, а на соединяемой детали через метр плюс необходимая посадка. Такой способ требует точного знания длин соединяемых деталей, что не всегда возможно получить без плазовых построений. Кроме того, материя соединяемых деталей в процессе производства может получить деформацию, не предусмотренную чертежом. В этом случае на производстве придется отбросить имеющуюся на чертежах разметку и произвести новую по практическим размерам.

Для самих оболочек, их крупных агрегатов и отдельных самостоятельных деталей, кроме того, изготавливаются сборочные чертежи в основном по правилам нормального машиностроительного черчения. Оболочки на этих чертежах изображают в форме их геометрического образования, условно обращая их в твердые поверхности. На сборочных чертежах (фиг. 16) должны быть проставлены позиции деталей и отдельных самостоятельных агрегатов, а также основные геометрические размеры и габариты. Такие чертежи необходимы для увязки

размеров матерчатых конструкций с присоединяемыми к ним жесткими элементами.

Чертежи такелажных конструкций выполняются в виде общих схем, сборочных чертежей и деталей чертежей. Общие схемы представляют выполненные в масштабе теоретические чертежи подвески (с позициями деталей такелаж), показывающие увязку такелаж с соединяемыми частями судна. Детальные чертежи отдельных строп



Фиг. 17. Типовая схема строп подвески мягкого дирижабля.

делаются в условном масштабе с разметкой длин между заплетками, позиций вплетенных деталей (коушей, тандеров, переходных элементов и т. д.), норм заплеток и диаметров тросов. Если данная такелажная конструкция состоит из некоторого числа одинаковых по диаметрам, но различных по длинам тросов с одинаковыми же заплетеными в них деталями, то применяются упрощенные чертежи (фиг. 17). На этих чертежах помещают схему одной стропы с разметкой деталей, отдельным же длинам дают буквенные обозначения, для численных значений которых составляется таблица.

Раздел II

ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИЙ И ОБОЛОЧЕК И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭТИХ ДЕФОРМАЦИЙ

§ 1. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ТКАНЕЙ

Основным материалом баллонных конструкций являются **ткани**, применяемые или как таковые, или после какой-либо обработки, в частности, в виде одно- и многослойных прорезиненных материй.

Ткань состоит из отдельных переплетенных между собой нитей, образующих клетки той или иной формы. Поэтому деформация ткани будет состоять не только из растяжения составляющих ткань ниток, но и из изменений формы и размеров клеток.

Теория деформации тканей была впервые изложена в работе инженеров Р. Гааса и А. Дитциуса «Растяжение материи и деформации оболочек мягких воздушных кораблей». Изучение этой теории относится к курсу «Технология баллонных материалов», поэтому здесь мы приведем только те выводы этой теории, на которые нам придется ссылаться в дальнейшем изложении.

Деформации клеток ткани и изменение форм волн нитей соответственно называются «деформацией сдвига» и «деформацией выпрямления нитей». Сущность деформации сдвига заключается в том, что прямоугольные клетки ткани при действии на них взаимно перпендикулярных напряжений перекашиваются до тех пор, пока направления нитей не совпадут с направлениями равнодействующих сил, приложенных к нитям. Величина деформации сдвига измеряется углом перекоса клеток.

Отметим следующие выводы, получаемые из теоретического рассмотрения деформации сдвига идеальной ткани.

1. Величина сдвига не зависит от абсолютной величины напряжений, действующих в ткани, а зависит от их отношения.

2. Величина сдвига зависит от угла, образуемого нитями недоформированной ткани с направлениями напряжений. Если эти углы равны нулю, то никакого сдвига не происходит.

3. При всяком данном отношении напряжений деформации сдвига получают максимальное значение тогда, когда первоначальный угол между направлением нитей и направлением напряжений составляет 45° .

4. Если отношение напряжений равно единице, то никакого сдвига не происходит.

5. Деформация сдвига вызывает удлинение материи по одному направлению и ее укорочение по другому.

Деформация выпрямления нитей заключается в том, что волнообразная нить данного направления (основы или утка) при ее натяжении стремится выпрямиться и, следовательно, увеличить крутизну волн нитей другого направления. При натяжении нитей обоих направлений крутизны их волн точно так же меняются, причем эти изменения вызывают укорочение ткани по одному направлению и ее удлинение по другому.

Эти деформации в идеальной ткани не зависят от абсолютных значений приложенных к ткани напряжений, а зависят от их отношения.

При малой крутизне волн нитей, т. е. при больших клетках, выпрямление нитей дает малые линейные деформации ткани. При крутых волнах нитей ткань дает большие линейные деформации, если только величина клеток ткани допускает выпрямление нитей.

Сдвиг и выпрямление нитей являются не упругими, а геометрическими деформациями. Они происходят без работы внутренних сил упругости, поэтому по прекращении действия напряжений эти деформации не исчезают, а остаются неизменными до приложения новых напряжений.

Деформации действительных тканей отличаются от теоретических деформаций идеальной ткани вследствие упругих свойств самих нитей и трения между нитями при их взаимных перемещениях. Для прорезиненных материй явление деформации будет осложняться еще упругими свойствами резинового слоя и трением между ним и нитями. Поэтому для определения деформации прорезиненных материй необходимы экспериментальные исследования.

§ 2. НОРМАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЛЛОННЫХ МАТЕРИЙ

Экспериментальные исследования, методика которых излагается в курсе «Технология баллонных материалов», показывают, что материи при растяжении не следуют закону Гука, причем зависимость относительных удлинений от напряжения выражается кривыми, показанными на фиг. 18.

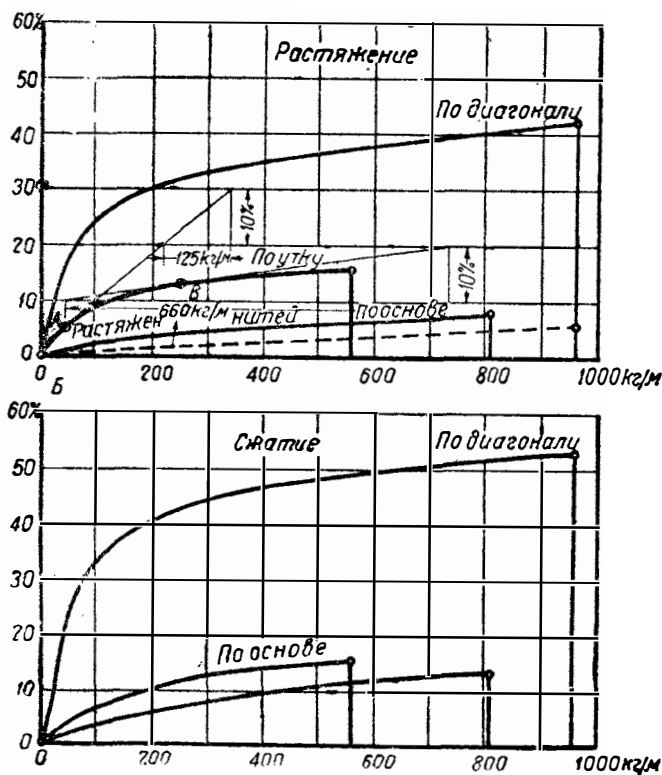
По горизонтальным осям диаграмм этой фигуры отложены величины напряжений в кг на погонный метр ширины образца, а по вертикальным осям — относительные удлинения.

Фиг. 18 дает результаты растяжения в разных направлениях образцов однослойной прорезиненной материи. На каждой диаграмме этой фигуры нанесены три кривые: первая кривая для растяжения по утку, вторая для растяжения по основе и третья для растяжения под углом в 45° к направлению основы и утка (по диагонали).

Верхняя диаграмма дает относительные удлинения образцов по направлению растяжения, нижняя диаграмма дает относительные сжатия образцов в направлении, перпендикулярном к растягивающей силе.

Пунктирная линия верхней диаграммы характеризует упругое растяжение ниток, из которых изготовлена испытываемая материя.

Из сказанного в предыдущем параграфе следует, что отрезки ординат, заключенные между указанной выше пунктирной линией и соответственными кривыми, характеризуют величину деформации выпрямления нитей для образцов, растягиваемых параллельно основе и утку, и величины деформаций выпрямления нитей и сдвига для образца, растягиваемого по диагонали. Этими геометрическими деформациями объясняются быстрое возрастание удлинений в начале загрузки



Фиг. 18. Диаграмма растяжения материи.

жения и значительные величины удлинений образца, растягиваемого по диагонали.

Определение модуля упругости E при каком-либо выбранном напряжении производится проведением касательной к соответственной кривой. Построения, сделанные на фиг. 18, показывают, что в точке A модуль упругости E равен: $125 : 0,1 = 1250 \text{ кг/м}$, а в точке B — $660 : 0,1 = 6600 \text{ кг/м}$.

Для основы (нижняя кривая диаграммы A) в интервале напряжений от 300 до 800 кг/м модуль упругости можно считать постоянным и равным 13 000 кг/м.

Значительные различия в деформациях основы и утка являются следствием вытяжки материи по основе во время ее прорезинивания.

Эти вытяжки обуславливают меньшие удлинения и большие сжатия основы по сравнению с утком.

Для определения деформаций матерчатых оболочек пользоваться диаграммами фиг. 18 нельзя. Действительно, из этой фигуры следует, что геометрические деформации составляют большую часть полной деформации материи. Вместе с тем в параграфе 1 указывалось, что величины геометрических деформаций зависят от отношения напряжений, действующих на материю по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Фиг. 18 относится к случаю, когда одно из этих напряжений равно нулю. Поэтому кривые этой фигуры не применимы для определения деформаций оболочки, в которой напряжения по обоим направлениям имеют значения, не равные нулю.

Заметим, что вследствие внутреннего трения окончательные величины деформаций нагруженной материи получаются через сравнительно большой промежуток времени, при этом в течение первых 3—4 суток деформации возрастают довольно быстро, а затем все более и более медленно. Полные деформации материи состоят из упругих и остающихся, причем последние вследствие наличия в материи геометрических деформаций имеют место даже при весьма малых напряжениях. Это свойство материи характеризуется фиг. 19. Кривая I этой фигуры получена при загрузке образца, а кривая II — при разгрузке.



Фиг. 19. Диаграмма растяжения материи.

Все отмеченные обстоятельства до известной степени учитываются при снятии так называемых нормальных характеристик материи. Описание методики получения этих

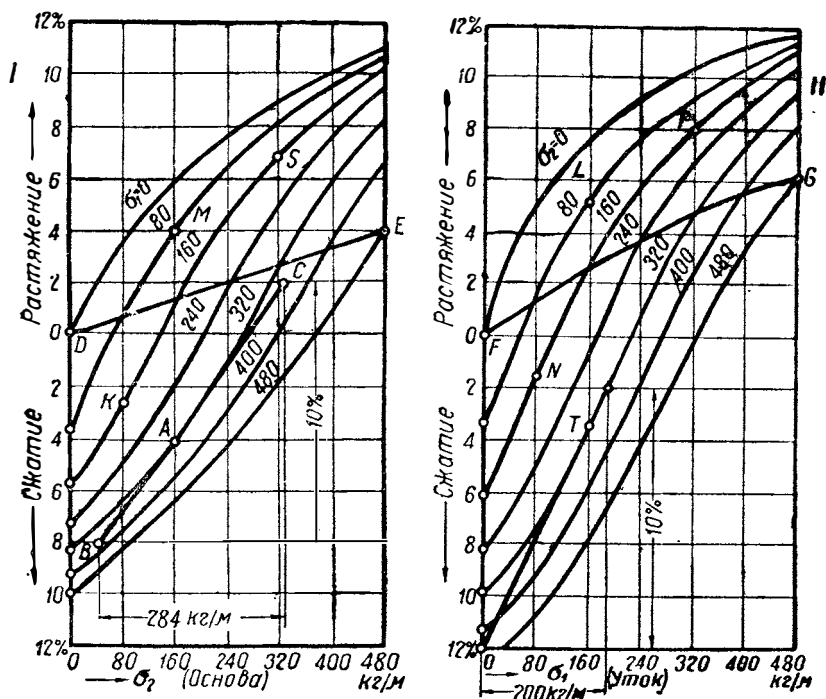
характеристик можно найти в упомянутой выше работе Р. Гааса и А. Дитциуса. Некоторые дополнения к этому описанию дает статья инж. Безуглова «Снятие нормальных характеристик баллонной материи», напечатанная в № 1 (7) «Технического бюллетеня Дирижаблестроя» за 1934 г.

Нормальная характеристика двухслойной диагонально дублированной прорезиненной материи, взятая из работы Гааса и Дитциуса, показана на фиг. 20. Нормальная характеристика всякой материи выражается двумя отдельными диаграммами. По вертикальной оси каждой диаграммы откладываются относительные удлинения или укорочения материи по основе или по утку, а по горизонтальной оси — напряжения по этому же направлению. Диаграмма I построена для основы, диаграмма II для утка. Отдельные кривые этих диаграмм дают относительное удлинение материи по одному из направлений (например по основе) при изменяющемся напряжении по этому направлению (по основе) и постоянном напряжении по другому направлению (по утку). Цифры, поставленные над каждой кривой, показывают величину этого постоянного напряжения в кг/м .

Следует обратить внимание на то, что при равных напряжениях по обоим направлениям (кривые DE и FG) деформации не равны нулю,

как это следует из теории деформации тканей, а возрастают с возрастанием абсолютной величины напряжений. Разница в диаграммах для основы и утка вызывается различной вытяжкой нитей при тканье и прорезинивании.

Имея нормальную характеристику выбранной материи и зная нормальные напряжения, действующие на материю оболочки, можно с большой степенью точности определить деформации оболочки, соответствующие этим напряжениям.



Фиг. 20. Нормальная характеристика двухслойной материи.

Для примера рассмотрим деформации цилиндрической оболочки, имеющей теоретическую длину $l = 20$ м и диаметр $d = 5$ м. Пусть материя направлена основой вдоль оси оболочки, и сверхдавление воздуха в оболочке вызывает продольное напряжение σ_2 , равное 80 кг/м , и поперечное напряжение σ_1 , равное 160 кг/м . Этим напряжениям на диаграмме фиг. 20 соответствуют точки K и L, т. е. по основе материя укоротится на $2,6\%$, а по утку удлинится на 5% . Таким образом диаметр и длина деформированной оболочки будут соответственно равны:

$$d_1 = 5 \cdot 1,05 = 5,25 \text{ м};$$

$$l_1 = 20 \cdot 0,974 = 19,48 \text{ м}.$$

Оставляя те же напряжения, предположим, что материя направлена утком вдоль оси оболочки. Тогда заданным напряжениям будут со-

ответствовать точки M и N диаграмм, т. е. по основе материя удлинится на 4,0%, а по утку укоротится на 1,8%. Отсюда получаем:

$$d_2 = 5 \cdot 1,04 = 5,20 \text{ м};$$

$$l_2 = 20 \cdot 0,982 = 19,64 \text{ м}.$$

Доведем величины напряжений при первом расположении материи до $\sigma_2 = 160 \text{ кг/м}$ и $\sigma_1 = 320 \text{ кг/м}$. Этому будут соответствовать точки A и P диаграмм. Следовательно, для этого случая:

$$d_3 = 5 \cdot 1,08 = 5,40 \text{ м};$$

$$l_3 = 20 \cdot 0,96 = 19,2 \text{ м}.$$

При этих же напряжениях изменим направление материи. Этому будут соответствовать точки S и T диаграмм, поэтому мы получим:

$$d_4 = 5 \cdot 1,068 = 5,34 \text{ м};$$

$$l_4 = 20 \cdot 0,965 = 19,3 \text{ м}.$$

Из этих примеров видно, что меньшие деформации получаются при расположении основы материи по большим напряжениям, которые в оболочках дирижаблей обычно имеют поперечное направление.

Для определения прогибов матерчатых оболочек под действием изгибающих моментов необходимо знать модуль упругости материи E . Этот модуль упругости изменяется с изменением напряжений σ_1 и σ_2 и определяется по нормальным характеристикам. Способ этого определения покажем на частном примере. Пусть материя расположена основой вдоль оси оболочки и имеет напряжения: $\sigma_1 = 320 \text{ кг/м}$ и $\sigma_2 = 160 \text{ кг/м}$. Этому случаю соответствует точка A диаграммы I фиг. 20. Проведем к кривой удлинений касательную BC в точке A . Из чертежа видно, что модуль упругости в этом случае будет равен:

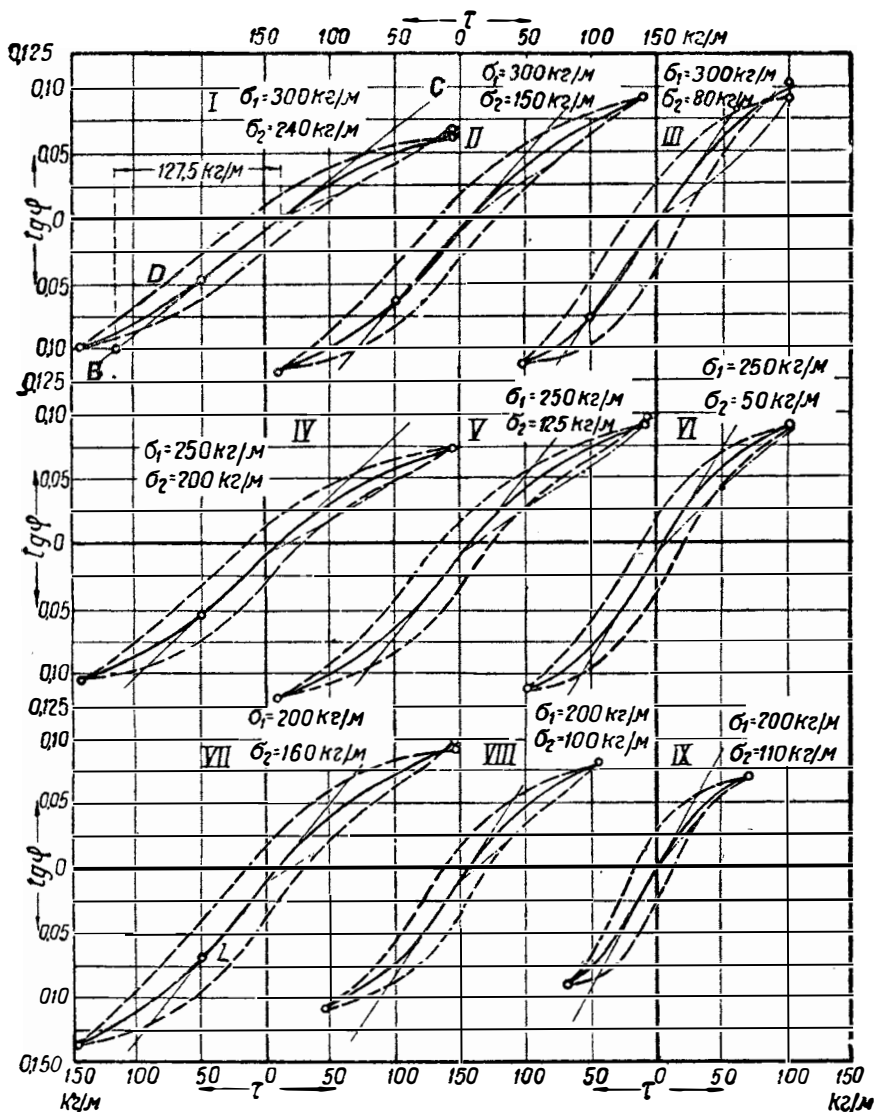
$$E = 284 : 0,1 = 2840 \text{ кг/м}.$$

§ 3. КАСАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЛОННЫХ МАТЕРИЙ

При расчете оболочки встречается необходимость определения ее деформаций от касательных напряжений. Здесь так же приходится пользоваться экспериментальными «касательными характеристиками материи». Методика получения касательных характеристик изложена в упомянутой выше работе Р. Гааса и А. Дитциуса.

На фиг. 21 показана касательная характеристика трехслойной диагонально дублированной прорезиненной материи, взятая из этой работы. По горизонтальной оси диаграммы откладывается величина касательного напряжений в кг/м , а по вертикальной оси тангенсы углов сдвига. На диаграмме нанесены девять групп кривых. Каждая группа соответствует определенным и постоянным значениям нормальных напряжений. Величины этих напряжений указаны над каждой группой кривых, причем σ_2 означает продольное, а σ_1 — поперечное напряжение испытываемого матерчатого цилиндра. Значения касательного напряжения τ в кг/м для кривых II , V и $VIII$ нанесены над диаграммой, а для кривых I , III , IV , VI , VII и IX — под диаграммой. Значения тангенсов углов сдвига нанесены по левой стороне диаграммы.

Каждая группа состоит из трех кривых. Нижняя пунктирная кривая соответствует загрузке, а верхняя разгрузке цилиндра. Сплошная кривая представляет среднюю линию двух пунктирных. Эта кривая



Фиг. 21. Кривые касательных характеристик трехслойной материи.

принимается за окончательный результат испытаний, и по ней производится определение деформаций.

Из фиг. 21 видно, что в средней части эти кривые близки к прямой, следовательно при условиях, отвечающих этим участкам, материал почти следует закону Гука.

Из рассмотрения диаграмм видно, что с уменьшением нормальных напряжений угол сдвига возрастает. Это можно проследить, сравнивая значения $\operatorname{tg} \varphi$ для точек, отвечающих одному и тому же значению касательного напряжения. Также следует обратить внимание на несимметричность кривых относительно линии $\operatorname{tg} \varphi = 0$. Это показывает, что при прочих равных условиях величины деформаций сдвига, сопровождающегося растяжением основы и укорочением утка диагонального слоя (верхняя часть кривых), будут отличны от величин деформаций сдвига, происходящего при укорочении основы и удлинении утка диагонального слоя. Этого можно было ожидать ввиду различия свойств утка и основы, получаемых при тканье и прорезинке.

Для определения модуля упругости при сдвиге G поступаем так же, как при определении модуля упругости E . Предположим, что нужно найти модуль G для следующих условий:

$$\sigma_1 = 300 \text{ кг/м}; \quad \sigma_2 = 240 \text{ кг/м}; \quad \tau = 50 \text{ кг/м}.$$

Этим условиям соответствует точка D на сплошной кривой I . Проводим в этой точке касательную BC . Изменению $\operatorname{tg} \varphi$ на 0,10 будет соответствовать увеличение касательного напряжения τ на 127,5 кг/м. Следовательно, модуль упругости при сдвиге в этой точке будет равен:

$$G = 127,5 : 0,1 = 1275 \text{ кг/м}.$$

Это значение может быть принято за постоянное для кривой I , в интервале от -50 до $+12$ кг/м.

§ 4. ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ МАТЕРИИ НА ФОРМУ ОБОЛОЧЕК

Рассмотрим теперь влияние различных факторов на выбор расположения и типов материй, применяемых для постройки оболочки. На фиг. 22 показано влияние расположения однослойной материи на деформации изготовленной из этой материи оболочки, находящейся под действием нормальных и касательных напряжений.

На чертеже I этой фигуры схематически показана сама оболочка с гондолой в интервале $a - b$, уравнивающей своим весом свободную подъемную силу. Ниже представлены эпюры перерезывающих сил и изгибающих моментов, действующих при этом на оболочку.

На чертеже II представлены в утрированном масштабе деформации оболочки, изготовленной из материи, нити которой расположены параллельно оси оболочки. При этом получается значительный сдвиг, вызванный перерезывающими силами. Деформации растяжения, сжатия и изгиба незначительны, так как при взятом расположении материя мало деформируется от нормальных напряжений.

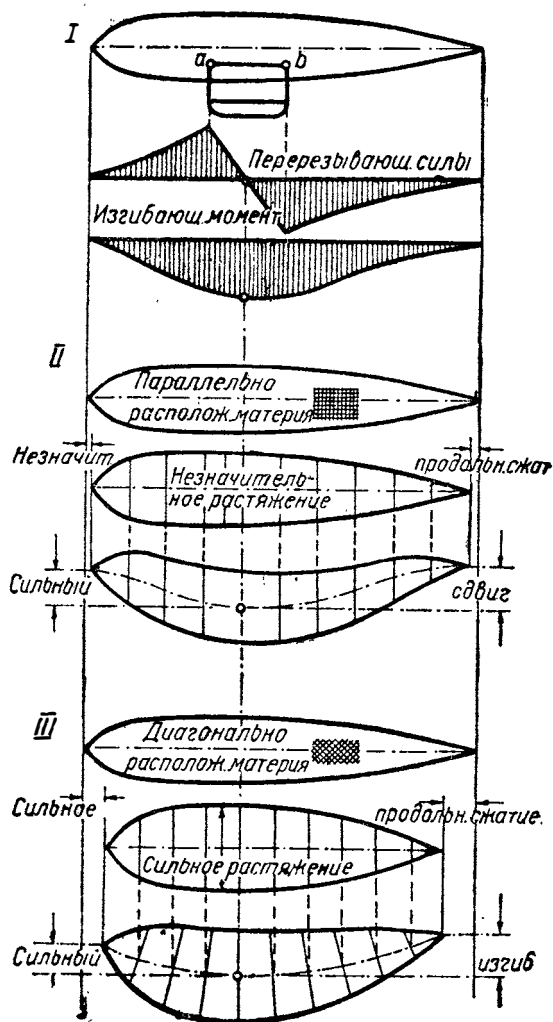
На чертеже III показаны деформации оболочки при расположении нитей материи под углом 45° к оси оболочки. Здесь сдвиг от перерезывающей силы минимален, а деформации, вызываемые нормальными напряжениями (растяжение, сжатие и изгиб), приобретают большие значения. Понятно, что ни первое, ни второе расположение материи не может удовлетворить конструктора, так как в каждом случае один или не-

сколько видов деформаций получают большие значения. Чтобы избежать этого, приходится применять диагонально дублированную материю, т. е. материю, имеющую один слой ткани, расположенный под углом в 45° к оси оболочки, а другие (один или несколько) — в ее направлении. Применение такой материи уменьшает все виды деформаций оболочки, так как диагональный слой воспринимает касательные, а параллельные слои — нормальные напряжения.

Выбор материи должен производиться с учетом величин нормальных и касательных напряжений. Так например, для оболочки мягкого дирижабля, в которой, как это будет показано ниже, касательные напряжения могут достигать значительных величин, необходима материя с прочным диагональным слоем. В оболочке полужестких дирижаблей касательные напряжения имеют относительно меньшие значения, поэтому здесь могут применяться материи, имеющие два параллельных и один более слабый диагональный слой. При значительных касательных напряжениях все три слоя делаются одинаковой прочности.

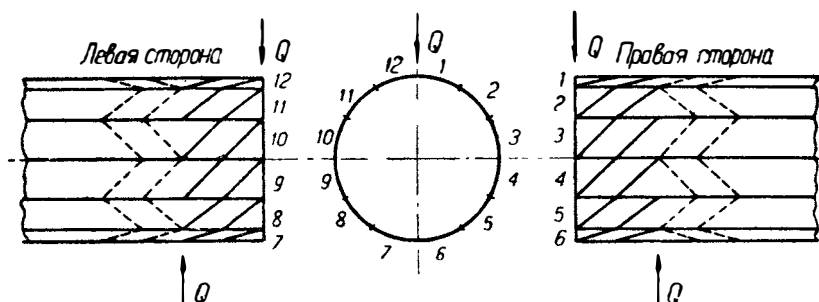
Для оболочек сферических аэростатов, в которых касательные напряжения не возникают, могут применяться однослойные или параллельно дублированные материи.

Выше было отмечено, что углы сдвига в диагональном слое материи различны при удлинении от сдвига основы и утка. На фиг. 23 представлена схема цилиндрической оболочки, находящейся под действием перерезывающей силы Q . Основа диагонального слоя материи, показанная на этой фигуре сплошными линиями, имеет во всех полотнищах одно и то же направление. Из чертежа видно, что под действием силы Q на всей левой стороне оболочки будет растянут



Фиг. 22. Деформация оболочки дирижабля.

уток, а на правой стороне — основа диагонального слоя. Из предыдущего известно, что при этом деформации сдвига правой и левой стороны оболочки будут различны по своей величине, и оболочка окажется скру-



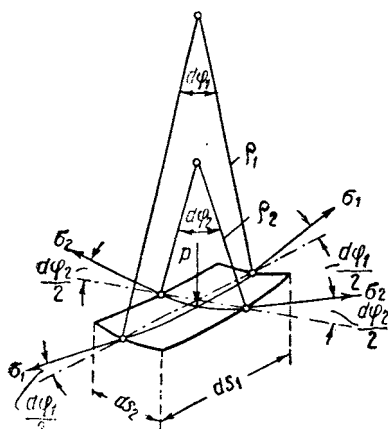
Фиг. 23. Сдвиг оболочки от действия перерезывающей силы.

ченной. Чтобы избежать этого скручивания, нужно менять направление основы в соседних полотнищах так, как это показано пунктиром. Тогда деформации обеих половин оболочки будут одинаковы, и скручивания оболочки не произойдет.

§ 5. ДЕФОРМАЦИИ БАЛЛОНОВ, НАПОЛНЕННЫХ ВОЗДУХОМ

Рассмотрев вопрос о деформациях баллонных материй и данные их экспериментальных исследований, перейдем к определению деформаций оболочек.

С целью упростить нашу задачу, рассмотрим сначала деформации оболочки, изготовленной из невесомой ткани и наполненной воздухом, или газом, имеющим удельный вес, равный удельному весу окружающей среды. Сперва определим напряжения, возникающие в оболочке под действием избыточного давления p находящегося внутри ее воздуха. Рассмотрим для этого (фиг. 24) условия равновесия некоторого элемента ткани dF , вырезанного из поверхности оболочки. Пусть стороны этого выделенного элемента будут ds_1 и ds_2 , ρ_1 и ρ_2 — радиусы его кривизны, $d\varphi_1$ и $d\varphi_2$ — соответствующие центральные углы и σ_1 и σ_2 — соответствующие искомые напряжения.



Фиг. 24. Равновесие элемента ткани, находящейся под давлением.

Напишем уравнение равновесия этого элемента:

$$p ds_1 ds_2 = 2\sigma_1 \sin \frac{d\varphi_1}{2} ds_2 + 2\sigma_2 \sin \frac{d\varphi_2}{2} ds_1. \quad (1)$$

Но

$$ds_1 = \rho_1 d\varphi_1, \quad ds_2 = \rho_2 d\varphi_2,$$

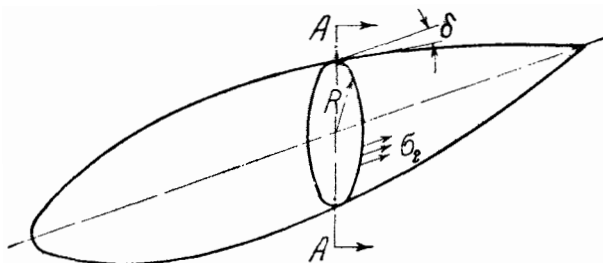
а синусы весьма малых углов $\frac{d\varphi_1}{2}$ и $\frac{d\varphi_2}{2}$ можно считать равными самим углам. Поэтому:

$$p\rho_1 d\varphi_1 \rho_2 d\varphi_2 = 2\sigma_1 \frac{d\varphi_1}{2} \rho_2 d\varphi_2 + 2\sigma_2 \frac{d\varphi_2}{2} \rho_1 d\varphi_1$$

или после упрощения:

$$p\rho_1\rho_2 = \sigma_1\rho_2 + \sigma_2\rho_1. \quad (2)$$

Для определения напряжений σ_1 и σ_2 нужно еще одно условие которое и определится формой оболочки. Пусть, например, мы имеем оболочку дирижабля, образованную вращением некоторой кривой вокруг ее продольной оси.



Фиг. 25. Оболочка, находящаяся под давлением воздуха.

Для определения продольного напряжения σ_1 в некотором сечении оболочки А — А (фиг. 25), рассечем оболочку по этому сечению и рассмотрим равновесие отсеченной части:

$$\pi R^2 p = 2\pi R \sigma_2 \cdot \cos \delta;$$

отсюда

$$\sigma_2 = p \frac{R}{2 \cos \delta}, \quad (3)$$

где δ — угол между осью оболочки и касательной в данном поперечном сечении к меридианальному обводу оболочки.

Легко видеть, что в миделе угол $\delta = 0$, следовательно для миделя:

$$\sigma_2 = \frac{Rp}{2}.$$

Зная продольное напряжение σ_2 , из формулы (2) можно определить поперечное натяжение σ_1 . В самом деле $\rho_1 = \frac{R}{\cos \delta}$, поэтому:

$$\sigma_1 = p\rho_1 - \sigma_2 \frac{\rho_1}{\rho_2} = p \frac{R}{\cos \delta} - \sigma_2 \frac{R}{\rho_2 \cos \delta} = 2\sigma_2 \left(1 - \frac{R}{2\rho_2 \cos \delta}\right). \quad (4)$$

Для конической части оболочки $\rho_2 = \infty$, поэтому формулы (3) и (4) дадут:

$$\sigma_2 = \frac{pR}{2 \cos \delta}; \quad (5)$$

$$\sigma_1 = 2\sigma_2 = \frac{pR}{\cos \delta}. \quad (6)$$

Для цилиндрической части оболочки $\rho_2 = \infty$ и $\cos \delta = 1$, поэтому формулы (3) и (4) дадут:

$$\sigma_2 = \frac{pR}{2}; \quad (7)$$

$$\sigma_1 = 2\sigma_2 = pR. \quad (8)$$

То же можно получить и из формул (5) и (6), положив в них $\cos \delta = 1$.

Наконец, для сферической оболочки, вследствие ее полной симметрии, имеем:

$$\rho_1 = \rho_2 = R$$

и

$$\sigma_1 = \sigma_2$$

Поэтому формула (2) даст:

$$pR^2 = 2\sigma R.$$

откуда:

$$\sigma = \frac{pR}{2}. \quad (9)$$

Итак, для матерчатого баллона, являющегося любым телом вращения, мы можем определить в любой точке напряжения, вызванные сверхдавлением заключающегося в баллоне воздуха. Зная величины напряжений и установочный угол материи (угол между осью оболочки и направлением нитей), мы сможем, пользуясь нормальными и касательными характеристиками, определить деформации нашего баллона. Нужно заметить, что деформации баллона сведутся, как было указано выше, к увеличению его диаметра и укорочению длины и, следовательно, полученные нами напряжения и деформации явятся лишь первым приближением решения задачи. Для уточнения необходимо определить напряжения, получающиеся при изменившихся размерах баллона. и по ним вновь найти деформации. Значения напряжений, имеющих место в деформированной оболочке, могут быть найдены следующим образом.

Пусть фиг. 26 изображает некоторый отрезок цилиндрического баллона, имевший до деформации диаметр d_0 и длину l_0 и находящийся под сверхдавлением воздуха p_m . После деформации его размеры будут:

$$d' = d_0(1 + \epsilon_1)$$

и

$$l' = l_0(1 - \epsilon_2),$$

где ϵ_1 — относительное удлинение материи по периметру сечения, а ϵ_2 — относительное укорочение по длине цилиндрического отрезка.

Сила T_1 , разрывавшая цилиндр до его деформации по диаметральной плоскости $A - A$, равна:

$$T_1 = p_m r'_0 l'_0. \quad (10)$$

Эта же сила после деформации получит выражение:

$$T_1' = p_m r'_0 (1 + \epsilon_1) l'_0 (1 - \epsilon_2) = T_1 (1 + \epsilon_1)(1 - \epsilon_2). \quad (11)$$

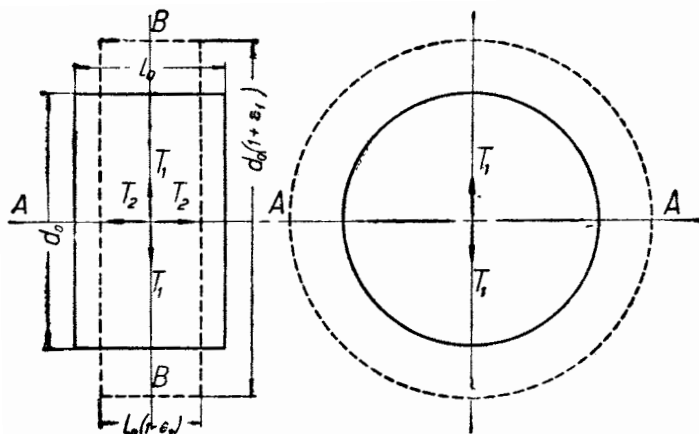
Сила, разрывающая цилиндр до его деформации по плоскости $B-B$, была равна:

$$T_2 = p_m \frac{\pi d_0^2}{4}. \quad (12)$$

Эта же сила после деформации будет равна:

$$T'_2 = p_m \frac{\pi d_0^2 (1 + \varepsilon_1)^2}{4} = T_2 (1 + \varepsilon_1)^2. \quad (13)$$

Величины напряжений, действующих в оболочке деформированного цилиндра, следует относить к ее начальным размерам. Деля поэтому равенства (11) и (13) соответственно на $2l_0$ и на πd , получим:



Фиг. 26. Деформация цилиндрического отсека.

$$\sigma'_1 = \frac{T_1}{2l_0} (1 + \varepsilon_1) (1 - \varepsilon_2);$$

$$\sigma'_2 = \frac{T_2}{\pi d} (1 + \varepsilon_1)^2.$$

Но $\frac{T_1}{2l_0} = \sigma_1$, а $\frac{T_2}{\pi d} = \sigma_2$, поэтому мы получим окончательно:

$$\sigma'_1 = \sigma_1 (1 + \varepsilon_1) (1 - \varepsilon_2); \quad (14)$$

$$\sigma'_2 = \sigma_2 (1 + \varepsilon_1)^2. \quad (15)$$

необходимую для практических целей. При желании получить более точные величины можно по вторичным значениям деформаций найти третьи значения напряжений, а по ним — третьи значения деформаций и т. д.

§ 6. ДЕФОРМАЦИЯ БАЛЛОНА, НАПОЛНЕННОГО ГАЗОМ

В предыдущем параграфе были рассмотрены напряжения, возникающие в матерчатом баллоне под действием сверхдавления заключающегося в нем воздуха, и деформации, являющиеся следствием этих напряжений. В этом случае в оболочке возникали лишь нормальные напряжения, величина которых в каждом данном случае зависела исключительно от величины сверхдавления и геометрических размеров баллона. Изучение распределения напряжений и вызванных этими напряжениями деформаций в баллоне, наполненном газом удельного веса, отличного от веса окружающего его воздуха, является несравненно более сложной задачей.

Первая причина этого усложнения заключается в том, что поперечное сечение оболочки, наполненной газом, имеющим подъемную силу, всегда будет иметь форму, отличную от круговой. Как было выяснено выше, поперечные напряжения цилиндрической оболочки определяются формулой:

$$\sigma_1 = pR.$$

Так как поперечные напряжения невесомой оболочки при нормальных к ней нагрузках не могут изменяться по периметру сечения, то можем предполагать: $\sigma_1 = \text{const}$. Для оболочки, наполненной воздухом, сверхдавление которого не меняется с высотой, $p = \text{const}$, а следовательно и $R = \text{const}$, т. е. сечение будет круговым. Для газа, имеющего подъемную силу, сверхдавление будет изменяться с высотой, следуя закону:

$$p_h = h \cdot \phi,$$

где p_h — сверхдавление на данной высоте h , отсчитываемой от уровня нулевого сверхдавления газа¹, а ϕ — удельная подъемная сила газа. Отсюда очевидно, что при $\sigma_1 = \text{const}$ и $p = f(h)$ R не может быть постоянным и будет являться функцией h . Следовательно, сечение не будет круговым. Поэтому для определения величины поперечного напряжения необходимо предварительно найти форму поперечного сечения.

Вторая причина, усложняющая нашу задачу, заключается в следующем. Равнодействующая воздушного сверхдавления направлена по оси оболочки и поэтому вызывает в материале оболочки чистое растяжение с одинаковыми напряжениями по всему периметру сечения. Сверхдавление газа не постоянно по поперечному сечению, а возрастает с высотой. Поэтому равнодействующая этих сверхдавлений лежит где-то выше оси, давая помимо растягивающей силы неко-

¹ Т. е. уровня, на котором давление газа равно давлению окружающего воздуха.

торый момент M , изгибающий оболочку. Нормальные напряжения, вызванные изгибающим моментом, могут быть найдены по известному выражению:

$$\sigma_2'' = \frac{My}{I}. \quad (16)$$

Складывая алгебраически напряжения от изгиба с напряжениями от растягивающей силы, получаем полные нормальные напряжения, найти которые, не зная I , т. е. формы поперечного сечения, невозможно.

Перейдем к третьему затруднению. Рассекая баллон, наполненный газом, близкими друг к другу поперечными сечениями на ряд отсеков, мы видим, что каждый отсек имеет некоторую подъемную силу. Эта подъемная сила, вообще говоря, не уравнивается нагрузкой отсека. Вследствие этого на баллон действуют перерезывающие силы и изгибающие моменты, вызывающие в материале оболочки касательные и нормальные напряжения. Эти напряжения, влияющие на деформацию оболочки, опять-таки зависят от форм поперечных сечений, так как от этих форм зависят подъемные силы отсеков и моменты инерции поперечных сечений.

Таким образом изучение деформаций оболочки, наполненной газом, должно начинаться с определения форм поперечных сечений.

§ 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ

Для выяснения сил, действующих на некоторое поперечное сечение, рассмотрим равновесие кольца, вырезанного из оболочки мягкого дирижабля с подвеской.

Как видно из фиг. 27, на кольцо будут действовать следующие внешние силы:

- 1) внутреннее сверхдавление газа p ;
- 2) элементарные веса материи gds ;
- 3) натяжение подвески T с составляющими T_1 , T_2 и T_3 ;
- 4) нормальные напряжения σ ;
- 5) касательные напряжения τ_1 и τ_2 .

Определение формы нагруженного таким образом кольца (гибкой нити) представляет достаточно сложную задачу. Поэтому для последовательного выяснения влияния различных факторов на форму поперечного сечения рассмотрим сначала более простой случай, а именно — поперечное сечение оболочки полужесткого дирижабля без внутренней подвески, считая, что это сечение взято в цилиндрической части оболочки.

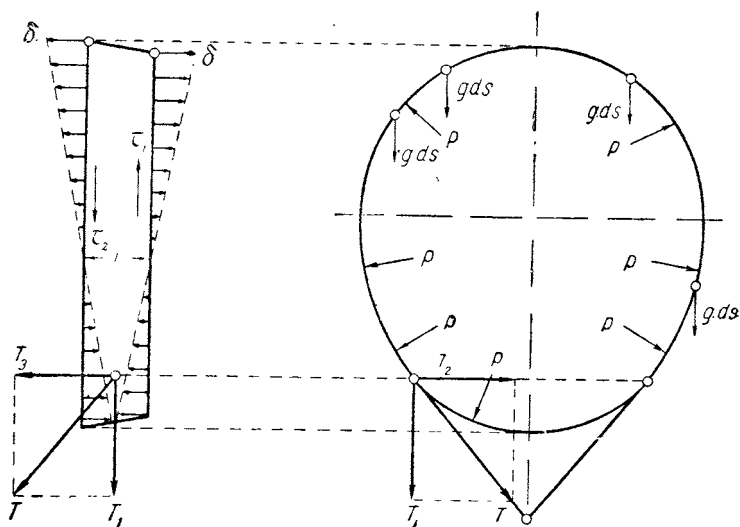
В этом случае продольные напряжения σ_z , будучи направлены нормально к плоскости сечения, не будут оказывать влияния на его форму.

Натяжения подвески, дающие в общем случае три составляющие, сводятся в этом случае к реакции в точке крепления оболочки к шпангоуту килевой фермы, причем эта реакция лежит в плоскости сечения, и ее поперечная составляющая воспринимается самим шпангоутом.

Так как оболочка непосредственно прикреплена к жесткой килевой ферме, то мы можем считать, что все перерезывающие силы воспринимаются фермой, и следовательно, никаких касательных напряжений τ в поперечном сечении существовать не будет.

Наконец, в первом приближении мы можем отбросить вес материи, считая нашу оболочку невесомой. Для полужесткого дирижабля, имеющего небольшие полетные сверхдавления и относительно легкую оболочку, такое допущение не вносит значительных погрешностей.

Таким образом наша задача сводится к определению формы гибкой невесомой нити, несущей нагрузку от газового сверхдавления, распределенную по закону трапеции.



Фиг. 27. Деформация поперечного сечения.

Простое и наглядное графоаналитическое решение этой задачи было предложено К. Э. Циолковским (фиг. 28). Предположим, что нам задано:

- 1) сверхдавление газа внизу оболочки p_0 ;
- 2) ширина киля в месте крепления оболочки B ;
- 3) длина дуги поперечного сечения оболочки s .

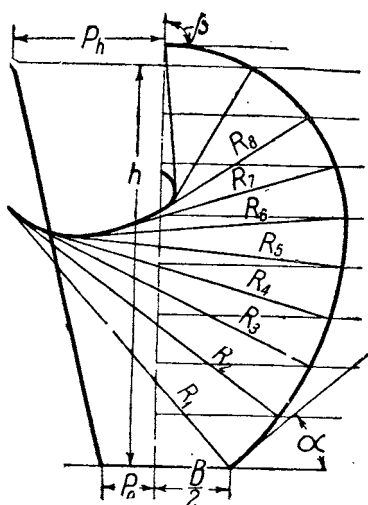
Кроме того, очевидно, что касательная, проведенная к оболочке в точке ее пересечения с вертикальной осью симметрии, должна быть горизонтальна. Обозначим через T погонное натяжение материи, через α — угол между горизонталью и касательной к оболочке в месте крепления оболочки к килю и через β — угол между касательной к оболочке в ее точке, лежащей на оси симметрии, и вертикалью. В нашем случае $\beta = 90^\circ$. Выше была выведена формула (8), дающая: $T = \sigma_1 = pR$.

Следовательно, зная T и p , можно легко определить R . На этом и основан излагаемый метод. В выбранном масштабе наносим на бумагу вертикальную ось симметрии и перпендикулярно ей откладываем половину ширины киля. Разбиваем вертикальную ось на интервалы в

1 м и через отметки проводим горизонтали. Слева от оси строим диаграмму газового сверхдавления по формуле:

$$p_h = p_0 + h\phi.$$

Задаемся произвольно величинами T и α и определяем для середины каждого интервала по высоте сверхдавления p_i . По заданному T и найденному p_i определяем R_i , соответствующие интервалам, на которые разбита ось. Для этих вычислений составляем таблицу 1.



Фиг. 28. Построение поперечного сечения методом К. Э. Циолковского.

Таблица 1

№ по пор.	p_i кг/м ²	$R_i = \frac{T}{p_i}$ м
1	—	—
2	—	—
—	—	—

Имея эту таблицу, проводим из точки B прямую под выбранным углом α и в той же точке B проводим нормаль к этой прямой. По нормали от точки B откладываем величину R_1 и из полученного центра проводим дугу радиусом R_1 до ее пересечения с первой горизонталью. Соединяем точку пересечения с центром дуги. На полученной прямой, являющейся нормалью к обводу поперечного сечения, откладываем от точки пересечения величину R_2 . Из получаемого центра проводим дугу радиусом R_2 до пересечения со второй горизонталью. Эти операции повторяем до тех пор, пока последняя дуга не пересечет вертикальную ось. Полученная таким образом кривая и есть форма поперечного сечения.

Измерив получающийся при этом угол β и длину дуги s , мы почти всегда обнаружим расхождение с заданными величинами. Причина заключается в неверно выбранных величинах T и α . Меняя величины T и α , повторяем построение поперечных сечений до получения необходимых совпадений с заданными величинами. При некотором навыке окончательные результаты могут быть получены после 6—7 попыток. Само же по себе построение не требует много времени, так что сечение может быть определено в течение 1—2 рабочих дней.

Задаваемые для построения сечения величины могут быть и другими; например, могут быть заданы: 1) высота внутренней подвески h , p_0 , s и B ; 2) h , площадь поперечного сечения Q , p_0 и B или 3) s , p_0 , B и угол касательной в точке присоединения оболочки к внутренней подвеске β и т. д. Вообще же для определенности решения могут быть заданы какие-либо характерные для данного сечения величины. Меньшее

число заданных величин вносит в задачу неопределенность, большое число может создать взаимно невыполнимые условия.

Кроме метода Циолковского, для определения формы поперечного сечения предложен ряд графических, аналитических и чисто механических методов. Эти методы будут описаны ниже, при определении форм поперечных сечений мягких и полужестких дирижаблей. Здесь же мы отметим лишь сложность решения этой задачи с тем, чтобы при изложении гидростатических испытаний было бы понятно то внимание, которое уделяется методике снятия поперечных сечений с моделей.

§ 8. НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ОБОЛОЧЕК

В мягких и полужестких дирижаблях оболочка является не только вместилищем подъемного газа, но и корпусом судна, т. е. тем элементом конструкции, который в мягких дирижаблях целиком, а в полужестких частично воспринимает на себя внешние, действующие на судно, силы. Эти внешние силы, помимо местных напряжений, вызывают в оболочке: а) перерезывающие силы, б) изгибающие моменты, в) скручивающие моменты, г) продольные (осевые) силы.

Не вдаваясь в рассмотрение происхождения и величин внешних сил и методов определения изгибающих моментов и пр., что составляет предмет общих расчетов воздушных судов, отметим, что наибольшие напряжения и деформации оболочки обычно вызываются перерезывающими силами и изгибающими моментами. Поэтому к определенным выше напряжениям от поперечного сверхдавления газа прибавляются еще нормальные напряжения от действия изгибающих моментов и продольных сил и касательные напряжения от перерезывающих сил.

Чтобы судить о прочности оболочки и определить ее деформации, нужно знать все указанные выше напряжения. Для выяснения способов их определения рассмотрим сначала упрощенный случай, а именно — изгиб оболочки, наполненной воздухом, лежащей на каких-то опорах и нагруженной некоторой системой сил. Для расчета оболочки как балки могут быть применены обычные методы сопротивления материалов, если допустить, что оболочки при изгибе подчиняются гипотезе Навье. Для проверки этого Гаасом и Дитциусом был проделан следующий опыт.

На изготовленную из материи оболочку диаметром в 200 мм и длиной в 1000 мм, наполненную воздухом и положенную на опоры, были нанесены линии поперечных сечений. При этом практически можно было считать, что оболочка не испытывала изгиба, так как вес материи ничтожен по сравнению с моментом сопротивления сечения. Затем оболочка, подвешенная за свою среднюю часть, была наполнена водой, что создало значительные изгибающие моменты, вызвавшие сильную деформацию изгиба. По истечении трех недель со дня наполнения водой, по окончательному установлению деформаций, была проверена плоская форма поперечных сечений с помощью визирования на ребро линейки, а затем с помощью стереоскопической фотосъемки. Полученные результаты полностью подтвердили возможность применения гипотезы Навье. Следовательно, мы можем определять нормаль-

ные напряжения изгиба по обычной формуле сопротивления материалов:

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{My}{I}. \quad (17)$$

Момент инерции I сечения оболочки, считая, что весь материал расположен по контуру сечения, примем равным:

$$I = \pi R^3. \quad (18)$$

Поэтому напряжения наиболее удаленных волокон, для которых $y = R$, выразятся формулой:

$$\sigma_{\text{max}} = \pm \frac{M}{\pi R^2}. \quad (19)$$

Для определения деформаций от изгиба мы должны интегрировать уравнение упругой линии, имеющее вид:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI}. \quad (20)$$

При изгибе оболочки величина E , зависящая от напряжений σ_1 и σ_2 , меняется и в каждом поперечном сечении и при переходе от одного поперечного сечения к другому. В практических расчетах при определении E для какого-либо поперечного сечения действующие в нем напряжения σ_1 и σ_2 принимаются постоянными. Это, конечно, сказывается на точности определения деформаций изгиба.

Для определения касательных напряжений и вызываемых ими деформаций рассмотрим фиг. 29.

Условия равновесия между нормальными и касательными напряжениями изгиба (фиг. 30) выражаются равенством:

$$2\tau dl = \int_y^R d\sigma ds. \quad (21)$$

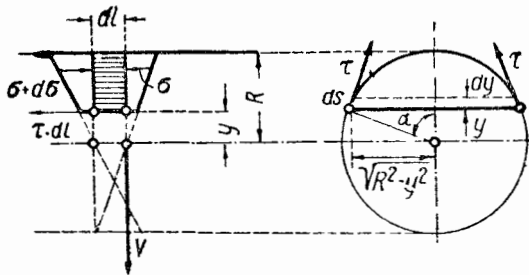
Но из сопротивления материалов известны следующие соотношения:

$$d\sigma = d \frac{yM}{I} = \frac{y}{I} dM;$$

$$dM = Q \cdot dl,$$

где Q — перерезывающая сила, действующая в данном поперечном сечении. Отсюда:

$$2\tau dl = \int_y^R \frac{y}{I} Q dl ds$$



Фиг. 29. Распределение касательных напряжений по сечению оболочки.

или

$$\tau = \frac{Q}{2I} \int_y^R y ds = \frac{Q}{2I} \cdot S, \quad (22)$$

где S — статический момент относительно нейтральной оси части сечения, лежащей выше площадки.

Этот момент может быть определен (фиг. 30) следующим образом:

$$S = \int_y^R y ds = R \int_y^R \frac{y}{\sqrt{R^2 - y^2}} \cdot dy = 2R \sqrt{R^2 - y^2} = 2R^2 \sin \alpha. \quad (23)$$

Поэтому касательное напряжение будет равно:

$$\tau = \frac{Q}{2\pi R^3} 2R^2 \sin \alpha = \frac{Q}{\pi R} \cdot \sin \alpha. \quad (24)$$

Отсюда видно, что распределение касательных напряжений по поперечному сечению выражается графически полухордами круга радиуса $\frac{Q}{\pi R}$.

Наибольшего значения касательное напряжение достигает при $\alpha = 90^\circ$. Тогда:

$$\tau_{\max} = \frac{Q}{\pi R}. \quad (25)$$

В практических приложениях угол сдвига γ оболочки определяется по максимальному касательному напряжению, имеющему место у нейтральной оси:

$$\gamma = \frac{\tau_{\max}}{G}.$$

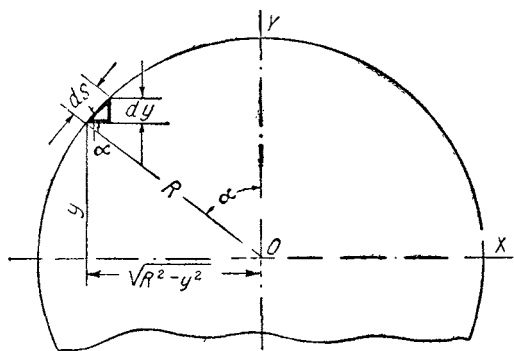
В случае кругового поперечного сечения это выражение на основании формулы (25) приобретает вид:

$$\gamma = \frac{Q}{G\pi R}. \quad (26)$$

В общем случае, беря значение τ по формуле (22), будем иметь:

$$\gamma = \frac{\tau_{\max}}{G} = \frac{Q \cdot S_{\max}}{2GI}. \quad (27)$$

Модуль упругости G для каждого сечения определяется по касательной характеристике по наибольшему значению касательных напряжений в этом сечении.



Фиг. 30. Определение статического момента оболочки.

Уравнение упругой оси при сдвиге имеет вид:

$$\frac{dy}{dx} = \gamma. \quad (28)$$

Изобразив изменение γ по сечениям в виде кривой и проинтегрировав эту кривую, получим вид упругой линии от сдвига.

Для определения окончательной формы упругой линии, деформации от изгиба и сдвига должны алгебраически складываться.

Все сказанное относится к оболочке, наполненной воздухом. Выясним теперь те усложнения, которые возникают при рассмотрении деформаций оболочки, наполненной газом. При выводах формул мы принимали, что поперечное сечение оболочки имеет круговую форму. Как было указано выше, поперечное сечение оболочки, наполненной газом, не может иметь круговую форму, а становится вытянутым в высоту. Посмотрим, какое влияние оказывает это изменение на напряжения и деформации, возникающие в оболочке от ее изгиба. Момент инерции такого сечения будет отличен от момента инерции кругового сечения. Следовательно, формулы (19) и (20) должны применяться в виде:

$$\sigma_{\max} = \frac{Me}{I_1} \quad (29)$$

и

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI_1}, \quad (30)$$

где I_1 — момент инерции деформированного сечения;

e — расстояние наиболее удаленного волокна от нейтральной оси этого сечения.

В формуле деформации от сдвига также надо выводить статический момент $S'_{\max}$ и момент инерции I_1 , вычисленные для деформированного сечения:

$$\gamma = \frac{Q}{2G} \cdot \frac{S'_{\max}}{I_1}. \quad (31)$$

Эти вычисления весьма кропотливы и точность их зависит от точности определения форм поперечных сечений. Меняющиеся по сечению величины E и G и здесь приходится заменять их некоторыми постоянными значениями. Таким образом определение деформаций оболочки, наполненной газом, более сложно и менее точно, чем в случае наполнения той же оболочки воздухом.

§ 9. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ОБОЛОЧЕК

Из всего сказанного следует, что определение деформаций оболочек теоретическим путем возможно только с применением ряда допущений, сказывающихся на точности окончательных результатов. Кроме того, требующиеся вычисления оказываются чрезвычайно громоздкими и сами по себе не дают большой точности. При проектировании же оболочек необходимо получить полное представление о их деформациях, так как устранение нежелательных деформаций, полученных

в уже построенной оболочке, не всегда возможно и требует затраты значительных средств и времени.

Отсюда возникает необходимость такой методики экспериментального исследования деформаций оболочек, которая позволяла бы определять их в сравнительно короткий срок и с достаточной точностью. Таким средством экспериментального исследования является метод испытания гидростатических моделей оболочек.

Сущность гидростатических испытаний заключается в том, что из материи изготавливается оболочка, геометрически подобная оболочке судна, но меньше ее в несколько раз. Эта модель оболочки наполняется жидкостью и подвешивается к специальной установке килевой частью вверх. Соответственно уменьшенные нагрузки действительной оболочки воспроизводятся на модели в обратном направлении (например вес должен действовать на модель снизу вверх). Определяя затем с помощью различных приспособлений деформации модели, находят по ним деформации оболочек в натуре. Покажем теперь, как надо выбирать материю модели и масштабы самой модели, нагрузок и пр.

Из исследований деформаций материй известно, что каждый тип материи имеет свои характеристики деформаций и что эти характеристики меняются при изменении абсолютных значений продольных и поперечных напряжений. Следовательно, при гидростатических исследованиях деформаций модели, сделанной из материи действительной оболочки, эти исследования надо ставить так, чтобы напряжения в материи модели как по распределению, так и по абсолютному своему значению были бы те же, что и в оболочке в натуре.

При гидростатических испытаниях модель наполняется водой, а действительные оболочки наполняются газом. Определим поэтому, какой должен быть масштаб модели, чтобы напряжения материи были в обоих случаях одинаковыми, а диаграммы повышения сверхдавлений подобными. Найдем также коэффициенты перехода от модели к натуре для всех величин, подлежащих измерениям. Для этого рассмотрим некоторое кольцо цилиндрической оболочки, выделенное двумя близкими поперечными сечениями. Обозначим через p_n — наружное давление, через p_v — внутреннее давление и через γ — удельный вес газа. Пусть αx будет некоторый воображаемый уровень, на котором $p_n = p_v$. От этого уровня, где наружное и внутреннее давления равны p_0 , мы будем отсчитывать высоты всех рассматриваемых нами точек.

Для вывода зависимости между размерами модели и натуре сравним их поперечные сечения. При этом сравнении все величины, относящиеся к модели, будем отмечать знаком «штрих». Форма поперечного сечения может считаться определенной, если для каждой его точки мы будем знать радиус кривизны ρ . По формуле (8) мы можем написать для натуре:

$$\rho = \frac{T}{p_u}, \quad (32)$$

где T — погонное натяжение материи;
 p_u — сверхдавление, равное $p_n - p_v$.

Для модели мы должны иметь соотношение:

$$\rho' = \frac{T'}{\rho'_u} \quad (33)$$

Если модель построена в масштабе $\frac{1}{n}$ от натуры, то во всех точках сечения $\rho' = \frac{1}{n} \rho$. Поэтому, на основании приведенных выше равенств, имеем:

$$\frac{T'}{\rho'_u} = \frac{1}{n} \frac{T}{\rho_u} \quad (34)$$

При изменении давлений по закону прямой линии, что можно принять при сравнительно небольших размерах оболочек по высоте, мы будем иметь:

$$p_u = p_n - p_b = h(\gamma_n - \gamma_b) \quad (35)$$

и

$$\rho'_u = h'(\gamma_n - \gamma'_b) \quad (36)$$

Подставляя эти значения p_u и ρ'_u в формулу (34), получим:

$$\frac{T'}{h'(\gamma_n - \gamma'_b)} = \frac{1}{n} \frac{T}{h(\gamma_n - \gamma_b)} \quad (37)$$

Так как мы приняли масштаб линейных размеров равным $\frac{1}{n}$, то $h' = \frac{1}{n} h$. Поэтому предыдущее выражение примет вид:

$$\frac{T'n}{h(\gamma_n - \gamma'_b)} = \frac{1}{n} \frac{T}{h(\gamma_n - \gamma_b)}$$

или

$$n^2 = \frac{T(\gamma_n - \gamma'_b)}{T'(\gamma_n - \gamma_b)} \quad (38)$$

Выше было указано, что натяжения оболочек модели и натуры должны быть равны между собой. Следовательно:

$$\frac{T'}{T} = 1,$$

и тогда

$$n^2 = \frac{\gamma_n - \gamma'_b}{\gamma_n - \gamma_b} = \frac{\phi'}{\phi}, \quad (39)$$

где $\phi' = \gamma_n - \gamma'_b$ — удельная подъемная сила «газа», наполняющего модель;

$\phi = \gamma_n - \gamma_b$ — удельная подъемная сила газа, наполняющего оболочку.

При наполнении модели водой ее «подъемная сила» практически может считаться постоянной, так как удельный вес воды γ'_b вообще изменяется мало, в лабораторных же условиях практически остается

постоянным, а γ_n — удельный вес воздуха — хотя и изменяется, но он в среднем в 800 раз меньше удельного веса воды, и его изменениями в лабораторной обстановке можно вполне пренебречь. Таким образом практически можем считать:

$$\phi' = \gamma_n - \gamma'_v \approx -1000 \text{ кг/м}^3.$$

Подъемная сила газа может значительно изменяться. Она зависит, с одной стороны, от удельного веса самого газа (водород, гелий, светильный газ и т. д.), его чистоты, температуры и пр., а с другой стороны, от удельного веса окружающего оболочку воздуха, т. е. от давления, влажности, температуры и т. д. Как всегда в таких случаях, приходится устанавливать некоторую нормальную подъемную силу газа. Приняв $\phi = 1,1 \text{ кг/м}^3$, мы получаем:

$$n^2 = \frac{1000}{1,1},$$

откуда

$$n = 30.$$

При $\phi = 1,00 \text{ кг/м}^3$ имеем:

$$n = \sqrt{\frac{1000}{1}} = 31,62 \approx 32.$$

Приняв удельную подъемную силу светильного газа равной $0,70 \text{ кг/м}^3$, получим:

$$n = \sqrt{\frac{1000}{0,7}} = 37,8 \approx 38.$$

Если требуется произвести испытания оболочки для ее пребывания на определенной высоте, то, зная удельную подъемную силу газа на этой высоте, легко найти соответствующий масштаб модели. Это приходится делать при испытаниях моделей высотных дирижаблей и стратостатов.

В некоторых случаях вода бывает неудобна для наполнения моделей, так как смачивание материи изменяет ее деформации. Поэтому вместо воды для наполнения гидростатических моделей иногда применяют ртуть. Удельный вес ртути в нормальных условиях равен $13,6$, т. е. $\phi' = 13\,600 \text{ кг/м}^3$. Отсюда для оболочек, наполненных водородом, имеем:

$$n = \sqrt{\frac{13600}{1,1}} = 111.$$

Здесь мы получаем еще более мелкий масштаб, затрудняющий применение ртутных моделей для практических целей. Действительно, точность измерений деформаций гидростатических моделей не превышает $0,5 \text{ мм}$. Следовательно, при водяных моделях мы имеем точность для натуры $15\text{—}20 \text{ мм}$, а при ртутных $55\text{—}60 \text{ мм}$.

Из других жидкостей, мало влияющих на материю и удобных в обращении, можно было бы применить алкоголь ($\gamma = 0,79$) и глице-

рин ($\gamma = 1,20$), для которых масштабы моделей соответственно получаются: $n = 27$ и $n = 37$.

Зная масштаб линейных размеров, можно определить масштабы и всех других величин, определяемых при испытаниях моделей. Объем модели будет составлять $\frac{1}{n^3}$ от объема оболочки. Полная подъемная сила F' модели равна $U' \phi'$, а оболочки $F = U \phi$. Значит:

$$\frac{F}{F'} = \frac{U \phi}{U' \phi'} = \frac{\phi n^3}{\phi'}, \quad (40)$$

откуда:

$$F' = F \frac{\phi'}{\phi n^3} = F \frac{n^3}{n^3} = \frac{F}{n}. \quad (41)$$

Произведя подобным образом вычисления масштабов для других величин, мы можем составить следующую таблицу (табл. II).

Таблица II

Зависимость между различными величинами гидростатических моделей и натуры

Наименование	Масштабы подобия	Водород $\phi = 1,1$ кг/м ³	Гелий $\phi = 1,0$ кг/м ³	Светиль- ный газ $\phi = 0,7$ кг/м ³	Водород $\phi = 1,1$ кг/м ³ (ртутная мо- дель)
	Водяная модель				
Линейные размеры	$1/n$	1/30	1/32	1/38	1/111
Площади	$1/n^2$	1/900	1/1024	1/1444	1/12321
Объемы	$1/n^3$	1/27000	1/32768	1/54872	1/1367631
Подъемная сила	$1/n$	1/30	1/32	1/38	1/111
Веса деталей	$1/n$	1/30	1/32	1/38	1/111
Натяжение оболочки	1	1	1	1	1
Сверхдавление	n	30	32	38	111
Перерезывающие силы	$1/n$	1/30	1/32	1/38	1/111
Изгибающие моменты	$1/n^2$	1/900	1/1024	1/1444	1/12321
Усилия в растянутых или сжатых элементах	$1/n$	1/30	1/32	1/38	1/111

Одним из первых практических применений этих масштабов подобия является решение вопроса об имитации веса оболочки.

В моделях, наполненных водой, вес оболочки складывается с подъемной силой воды, направленной книзу, а в действительных оболочках этот вес вычитается из подъемной силы, направленной вверх. При испытаниях моделей мягких дирижаблей, для которых вес оболочки составляет от 0,25 до 0,33 полной подъемной силы, пренебрегать указанной разницей без внесения значительных погрешностей в результаты испытаний нельзя. Методы чисто механической имитации веса оболочки мы рассмотрим ниже, здесь же разберем довольно распространенный способ имитации веса оболочки посредством изменения коэффициента подобия.

Для имитации веса оболочки уменьшим величину h' и подъемную силу модели, т. е. ее линейные размеры в n_2 раз. Тогда мы будем иметь линейный коэффициент подобия между моделью и натурой, равный $\frac{1}{nn_2}$. Но при этом мы изменим напряжения в оболочке модели. Постараемся поэтому определить такое значение h' , при котором возможно было бы получение одинаковых напряжений в натуре и модели. Приняв масштаб $nn_2 = n_1$, мы должны для получения $T' = T$ увеличить h' на некоторую его часть dh' . Для какой-либо точки оболочки в натуре имеем:

$$\rho = \frac{T}{(h+y)\phi},$$

а для соответственной точки модели:

$$\rho' = \frac{T'}{(h' + y' + dh')\phi'}.$$

Здесь:

h и h' — расстояния «нижних» точек миделей натуре и модели от основных плоскостей;

y и y' — вертикальные расстояния между «нижними» точками миделей и взятыми точками натуре и модели.

Деля ρ на ρ' и полагая при этом $T = T'$, получим:

$$\frac{\rho}{\rho'} = \frac{[(h' + y') + dh']\phi'}{(h + y)\phi}. \quad (42)$$

Но $\frac{\rho}{\rho'} = n_1$, а $\frac{h' + y'}{h + y} = \frac{1}{n_1}$, поэтому предыдущее равенство примет вид:

$$n_1 = \frac{\phi'}{\phi} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{dh'}{h + y} \right). \quad (43)$$

Определяя отсюда dh' , найдем:

$$dh' = \left(\frac{n_1\phi}{\phi'} - \frac{1}{n_1} \right) (h + y). \quad (44)$$

Таким образом dh' оказывается переменной величиной, растущей вместе с y . Поэтому, подобрав значение dh' по формуле (44) для какой-либо одной точки оболочки, мы получим в этой точке одинаковые напряжения в модели и в натуре. Для точек, имеющих другие значения y , эти напряжения совпадать не будут. Указанные несовпадения будут тем меньшими, чем больше h и чем меньше высоты натуре и модели.

Величина масштаба n_2 должна определяться по отношению веса оболочки к полной подъемной силе судна и, следовательно, в разных случаях должна иметь различные значения. В практических приложениях масштаб n_1 обычно берут равным 33,3. Поправка dh' подсчитывается по формуле (44) при y , равном радиусу миделя натуре.

В настоящее время гидростатический метод является единственным рациональным методом определения деформаций матерчатых оболочек, и ни одна оболочка не должна строиться без всесторонних испытаний ее гидростатических моделей. Недостатками этого метода являются:

- 1) малый возможный масштаб модели;
- 2) затруднительность и неточность имитации веса оболочки;
- 3) влияние смачиваемости материи;
- 4) чрезмерная жесткость материи по сравнению с размерами модели, особенно сильно сказывающаяся на ее концах и в моделях малых размеров;

5) отсутствие на сегодняшний день практически проверенных переходных коэффициентов от модели к натуре.

Но даже и эти недостатки не снижают ценности метода и лишь заставляют углубленнее приняться за проработку всей методики экспериментов.

§ 10. ПРАКТИКА ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

При помощи гидростатических испытаний можно разрешать следующие вопросы:

- 1) определять изменения объема оболочки при изменении сверхдавлений;
- 2) определять линейные деформации материи по различным направлениям;
- 3) определять формы поперечных сечений;
- 4) определять распределения напряжений в оболочке;
- 5) определять деформации оси оболочки;
- 6) определять деформации всей формы оболочки;
- 7) определять деформации, вызванные местными нагрузками (подвеской, оперением, носовым усилением и т. д.);
- 8) определять величины минимального сверхдавления (для мягких дирижаблей);
- 9) определять положения центра подъемной силы и его перемещения при изменении сверхдавления и степени выполнения баллонетов;
- 10) определять степень статической устойчивости оболочки при различных выполнениях и различной конструкции диафрагм;
- 11) определять усилия в узлах катенарий при разных сверхдавлениях в оболочке;
- 12) устанавливать длины внутренней подвески, дающие максимальный объем и плавность меридианального обвода для оболочек полужестких дирижаблей;
- 13) определять влияние расположения оперения на деформацию кормовой части оболочки для мягких и полужестких дирижаблей;
- 14) разрешать другие задачи по определению деформаций оболочек, которые могут быть поставлены в процессе проектирования или исследовательской работы.

Как видно из приведенного выше перечисления, основные измерения, которые производятся во время гидростатических испытаний, сводятся к измерению объема, определению деформаций материи и фиксации меридианальных обводов и поперечных сечений.

Гидростатические модели должны изготавливаться, как это было указано выше, из тех же материй, которые предполагаются для изготовления самих оболочек. Геометрическое образование моделей и всех ее деталей должно быть подобно натуре. Чтобы уменьшить влияние

дополнительной жесткости, создаваемой швами, число продольных полотнищ модели выбирается обычно меньшим, чем для оболочки в натуру, но для обеспечения плавности формы уменьшать число полотнищ ниже 8 не рекомендуется. С той же целью уменьшения влияния жесткости швов, конструкция шва, и главное ширина пересклейки, выбираются не из условий равнопрочности шва и материи, а из условий сохранения прочности и непроницаемости шва при тех напряжениях, которые будут иметь место при испытаниях. Поэтому прочность шва обычно составляет половину прочности материи. Например, для модели, изготовленной из трехслойной материи с прочностью 2200—2400 кг/м, выбирался шов с пересклейкой 10 мм, одной строчкой и двумя (наружной и внутренней) лентами, тогда как оболочка имела пересклейку в 20 мм, две строчки и три ленты (две внутренних и одну наружную). Для носовой и кормовой частей модели ширина пересклейки иногда еще уменьшается, так как в противном случае жесткость этих частей получается чрезмерной.

Раскрой и склейка полотнищ модели должны производиться с большей тщательностью и точностью, чем для оболочки в натуру, вследствие малости масштаба модели. Все детали модели: катенарии, баллонеты, диафрагмы и т. д., должны быть геометрически подобны натуре. Конструкция силовых элементов (катенарий, креплений подвески и пр.) может отличаться от принятой в натуре, но вместе с тем подобие явлений должно строго соблюдаться. Сечения тросов и других элементов должны выбираться с учетом приведенных выше коэффициентов подобия или браться непосредственно по расчету модели с тем же запасом прочности, что и в натуре. Для имитации внешних нагрузок от оперения, носового усиления и т. д. на оболочку должны быть нашиты в соответственных местах пояса с люверсами, к которым будут прикрепляться грузы, имитирующие эти нагрузки.

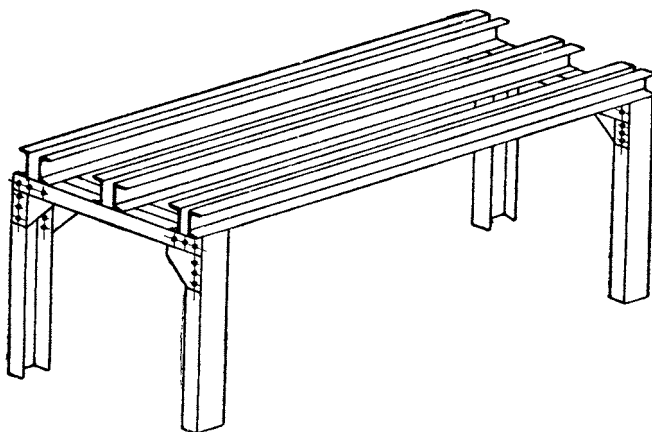
При изготовлении модели должно быть предусмотрено необходимое количество апендиксов, в том числе: для подполнения, для опорожнения, для присоединения водяного манометра в нижней части оболочки, для присоединения термометра и, наконец, для создания воздушного давления (апендиксы с велосипедными или автомобильными вентилями, играющими роль обратных клапанов). Расположение апендиксов выбирается с учетом удобства производства нужных экспериментов.

Для выполнения различных измерений на оболочке модели должны быть нанесены тонкими линиями, проведенными тушью, все сечения, строевые, оси полотнищ и т. д. Для определения напряжений, возникающих в оболочке модели, на нее накладываются в различных местах тушью круги определенного диаметра.

Установка для гидростатических испытаний (фиг. 31) состоит из основной рамы, к которой подвешивается модель. Размеры этой рамы выбираются из условий возможности размещения наибольшей модели, подвергаемой исследованию. Так например, модель оболочки полужесткого дирижабля объемом 50 000 м³ имеет длину в 5 м. Высота установки должна обеспечивать свободную подвеску модели с различными дополнительными приспособлениями, что обычно не превышает 2 м. Прочность установки должна обеспечивать подвеску модели наибольшего веса в одной точке по середине установки. Модель дири-

жабля в $50\,000\text{ м}^3$, наполненная водой, весит 2000 кг. Верхние траверсы установки делаются обычно из двух швеллерных железных балок, составленных своими стенками. Такая конструкция допускает удобное крепление модели или каких-либо приспособлений путем подвески их на болтах, пропущенных между стенками швеллеров. Обычно установка имеет три продольных траверсы: одну центральную и две боковых. Опоры для траверс делаются из сортового железа и наглухо закрепляются в фундаменте.

Для определения формы поперечного сечения применяют так называемый «щит». Щит (фиг. 32) состоит из двух металлических листов, поставленных вертикально в плоскости, перпендикулярной к продольной оси установки. Эти листы смонтированы на тележке так, что они могут перемещаться в своей плоскости. Листы имеют полукруглые вы-



Фиг. 31. Рама гидростатической установки.

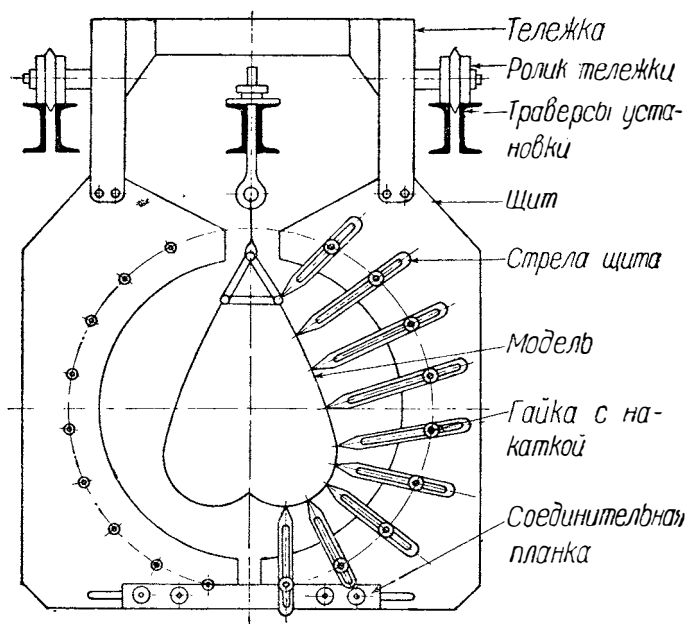
резы, причем при сдвинутых вместе листах по середине их получается круглое отверстие диаметром на 150—200 мм больше диаметра наибольшей из моделей, подлежащих испытанию. По радиусам выреза на листах смонтированы стрелы, закрепляющиеся в любом положении в плоскости щита с помощью винтов с барашковыми гайками. Эти стрелы и служат для фиксации положения точек поперечных сечений модели.

Тележка, на которой установлен щит, может передвигаться на четырех колесах вдоль установки по строго горизонтальным рельсам. На торцах установки закреплены параллельно плоскости щита деревянные доски. На доски накладывается лист бумаги, на котором и отмечаются концы стрел, фиксирующих отдельные точки поперечного сечения. Доски ставят с обоих торцов установки, чтобы иметь возможность подводить к доске тележку от любого сечения модели, не раздвигая листов щита для перехода через мидель.

Для замера высот модели применяются теодолиты или обычные лабораторные катетометры, установленные на полу лаборатории на достаточном расстоянии от модели. В хорошо оборудованных установках

желательно иметь катетометры, постоянно установленные на тележке, движущейся по горизонтальным рельсам строго параллельно оси установки. Параллельно рельсам должна быть проложена стальная рулетка, а на самой тележке катетометра должен иметься указатель для отсчета по рулетке расстояний между точками визирования.

Для наполнения моделей к установке должна быть подведена водопроводная труба диаметром $1-1\frac{1}{2}$ ". Наполнение модели обычно производится с помощью мерных бачков объемом 40—60 л. Точное доведение уровня воды до заданного производится лабораторными стаканами объемом в 1 л с градуировкой через 10 см³. Такая точность необходима, так как 1 л объема модели соответствует 27 м³ натуре.



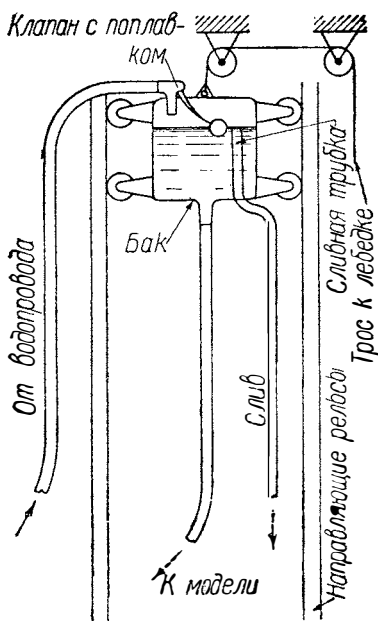
Фиг. 32. Щит для снятия поперечных сечений моделей.

Для получения необходимых давлений воды при нормальных производственных испытаниях достаточно простого доливания воды в напорную стеклянную трубку длиной 1—1,5 м, вставленную в апендикс, служащий для наполнения модели. В самом деле, для мягких дирижаблей наивысшее полетное сверхдавление не превышает 45 мм вод. ст., что для модели соответствует 1350 мм вод. ст. Для полужестких дирижаблей предельное давление обычно принимается в 25 мм вод. ст., что дает для модели 750 мм вод. ст.

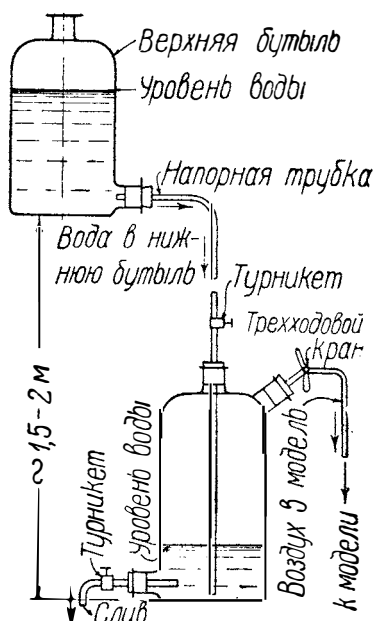
При некоторых исследовательских работах приходится применять давление порядка 3000—3500 мм вод. ст. Для получения таких давлений применяется приспособление, называемое лифтом. Это приспособление (фиг. 33) состоит из поплавковой камеры с постоянным уровнем, перемещающейся в вертикальных направляющих с помощью троса, наматываемого на ворот. Запорный клапан камеры сообщается резино-

вым шлангом с водопроводным краном, питающим камеру водой. Водяное пространство камеры с помощью резинового шланга соединяется с апендиксом для наполнения модели и создает внутри ее давление, определяемое положением уровня воды в камере лифта. В камере, кроме того, должна иметься сливная трубка для удаления излишков воды. Подъемное приспособление должно иметь указатель, фиксирующий высоту уровня жидкости в поплавковой камере.

Для создания внутри модели воздушного давления могут применяться различные ручные или механические компрессоры или насосы. Но так как трудно добиться полной воздухопроницаемости модели,



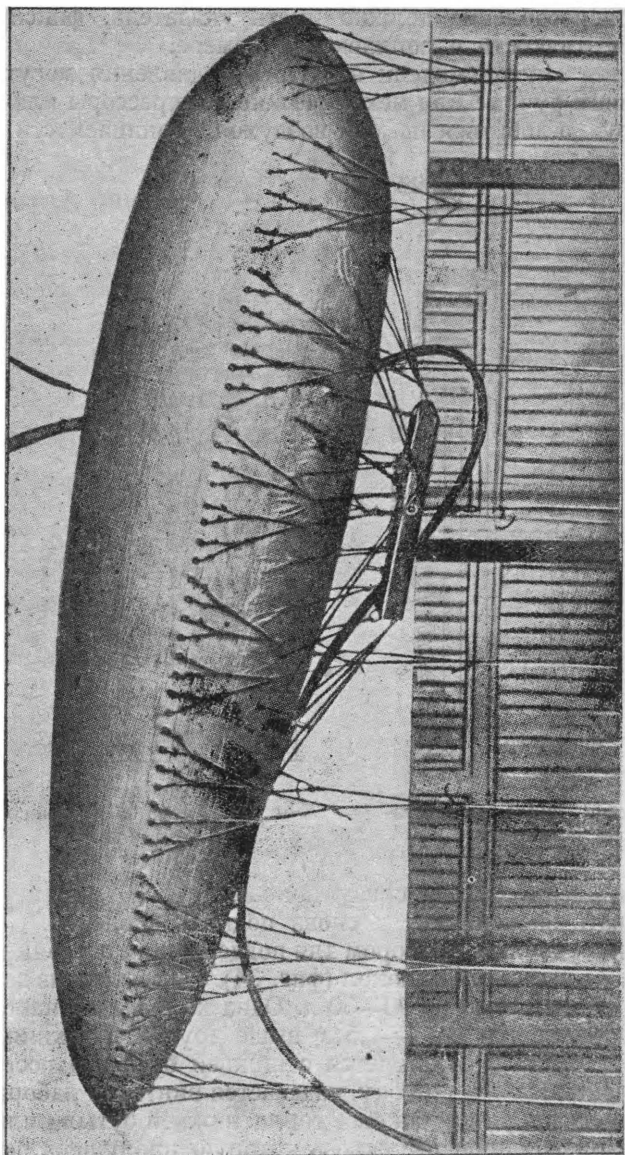
Фиг. 33. Схема лифта гидростатической установки.



Фиг. 34. Схема воздушного колокола.

то созданное давление обычно сразу начинает падать, вызывая необходимость прервать эксперимент и снова поднять давление.

Чрезвычайно удобным прибором для поддержания постоянного давления оказался воздушный колокол (фиг. 34). Он состоит из двух стеклянных бутылок емкостью по 20—30 л. Одна из бутылок наполняется водой и устанавливается на 1—1,5 м выше другой. Верхняя бутылка имеет открытое горло и соединяется с нижней бутылкой посредством резиновой трубки. На эту трубку надевается винтовой лабораторный зажим (турникет). Верхнее боковое горло нижней бутылки плотно закрывается резиновой пробкой, сквозь которую пропущена резиновая трубка, присоединенная к воздушному апендиксу модели. Вода, переливаясь из верхней бутылки в нижнюю, создает в ней воздушное давление, передаваемое модели через трубку. Давление в конечном результате равняется разности уровней воды в бутылках, и его легко



Фиг. 35. Гидростатическая модель мягкого дирижабля.

можно регулировать, уменьшая подачу воды зажиманием турникета, одетого на водоподающий шланг. По наполнении нижней бутылки воду из нее переливают обратно в верхнюю, после чего прибор продолжает работать попрежнему.

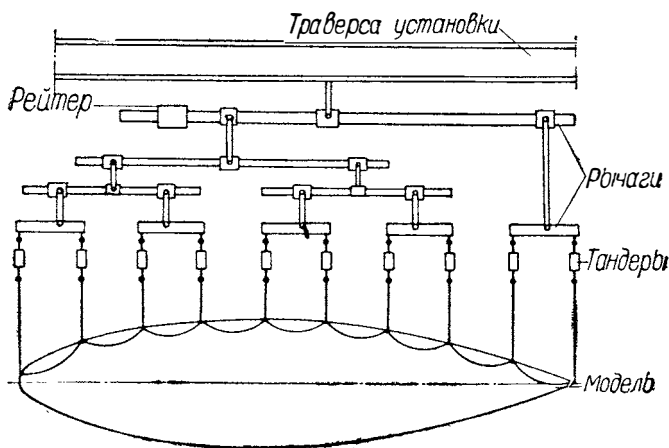
Для замера давления внутри модели применяются *U*-образные манометры, наполненные подкрашенной водой. Ноль манометра приводится на уровень наивысшей (в натуре наинизшей) точки миделевого сечения модели по нивелиру. Для большей точности отсчетов в некоторых случаях используются наклонными манометрами. Наклон этих манометров обычно выбирается так, чтобы перемещение столба воды по трубе на 10 мм соответствовало изменению давления в 1 мм вод. ст. При замере больших давлений, порядка 2500—3500 мм вод. ст., применение водяных манометров становится уже неудобным. В этом случае применяются вертикальные или наклонные ртутные манометры, шкала которых для удобства разбивается на мм водяного столба модели или на мм водяного столба натуры.

Для фиксации объема модели можно пользоваться записями количества воды, влитой в модель. В некоторых лабораториях для определения количества воды по весу, модель подвешивается к самой установке с помощью пружинных динамометров или же к площадке десятичных весов, поставленных на установку.

Подвеска модели к установке осуществляется различными способами в зависимости от типа судна и назначения испытания. Модель мягкого дирижабля с подвесной гондолой (фиг. 35) должна иметь полную имитацию гондольной подвески, которая и прикрепляется к соответственным узлам модели гондолы, обычно изготовленной из дерева. Сама же модель гондолы непосредственно или с помощью динамометров подвешивается в установке так, что ось подвески проходит через центр тяжести действительной гондолы. Тем самым имитируется равновесие дирижабля в полете.

Для мягких дирижаблей вес оболочки имеет большее значение, чем для полужестких. Кроме изменения масштаба, подробно изложенного выше, применяются различные способы имитации веса оболочки. Один из этих способов состоит в том, что по экватору на модель нашивается пояс, к которому крепятся вертикальные подвески, присоединенные попарно к неравноплечим рычагам. Эти рычаги в свою очередь прикрепляются попарно ко второй серии рычагов и так далее до последнего рычага, который подвешивается на тросе, перекинутом через ролик и уравновешиваемом грузом, имитирующим вес оболочки плюс вес рычагов и подвески. Плечи рычагов всех серий подбираются так, чтобы натяжения вертикальных подвесок, идущих от пояса, соответствовали распределению веса оболочки, а ось последнего рычага совпадала по вертикали с центром тяжести оболочки. Подобная же система поясков и рычагов применяется для имитации веса оперения или носового купола. Кроме этого способа были предложены и другие приемы имитаций веса оболочки: вшивание в оболочку баллонета или пробкового стержня с сечениями, пропорциональными распределению веса оболочки, и др. Выбор того или иного способа, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки, зависит от поставленной задачи.

Сложнее обстоит вопрос с подвеской модели полужесткого дирижабля, имеющего ферму, прикрепленную по всей длине оболочки. Как известно, оболочки, находящиеся под сверхдавлением, укорачивают свою длину и увеличивают диаметр, причем эти изменения различны для различных частей оболочки. Поэтому очертание нижней (для модели верхней) части оболочки вследствие деформации модели примет форму, отличную от теоретической. Изменения длины модели могут достигать 3—4%, и одной из основных задач гидростатических испытаний полужестких дирижаблей является определение очертания нижней части оболочки, без чего при сборке кия потребуются значительное число переделок и подгонок. Ввиду сказанного надо выработать такую схему подвески, которая позволила бы модели



Фиг. 36. Схема подвески модели дирижабля СССР-В5.

в период старения свободно деформироваться при сохранении требующейся плавности формы, а затем в процессе самих испытаний сохранять зафиксированное взаимное расположение точек подвеса.

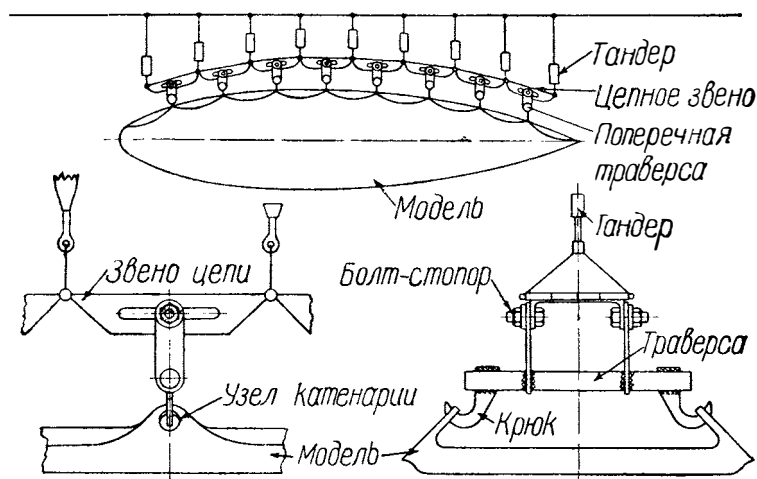
Для испытаний модели оболочки полужесткого дирижабля СССР-В5 объемом 2250 м³ было предложено применить подвеску по типу подвески для имитации веса оболочки (фиг. 36). Это было тем легче, что оболочка дирижабля В-5 не имела внутренней подвески. От каждой противоположащей пары узлов катенарий шли вертикальные подвески с включенными в них тандерами для регулировки высоты узлов. Каждая пара подвесок присоединялась к скобе, скользящей по двуплечному рычагу. Рычаги попарно с помощью скользящей скобы подвешивались к рычагам следующей серии и так до последнего рычага, подвешенного с помощью двух шарикоподшипников к основной траверсе установки. Рычаги имели на своих плечах деления через 1 мм, а скобы, имевшие указатели, были снабжены фиксаторами, допускавшими их закрепление на рычагах. Все рычаги имели прямоугольное сечение и были изготовлены из стали.

Основная идея такой подвески заключалась в том, что в процессе деформации модели, передвигая скобы, можно было сохранять верти-

кальность всех подвесок, регулируя с помощью тандеров плавность очертания модели и горизонтальность рычагов. Для уравнивания веса системы подвески применялись тяжелые рейтеры, перемещаемые по последнему рычагу. По окончании деформации модели и приведении всей системы в равновесие, положение всех точек катенарий фиксировалось и скобы закреплялись на рычагах фиксаторами. После этого производились обмеры модели. При переходе к другому режиму испытаний узлы катенарий новой регулировкой скоб и тандеров приводились на прежние места, а вся система в равновесие.

Зная общий вес модели и отношения плеч всех рычагов, легко определить усилие в каждой подвеске при различных режимах путем последовательного разложения нагрузки.

Практически эта система показала себя вполне пригодной, но вместе с тем выяснилась чрезвычайная сложность и кропотливость регулиро-

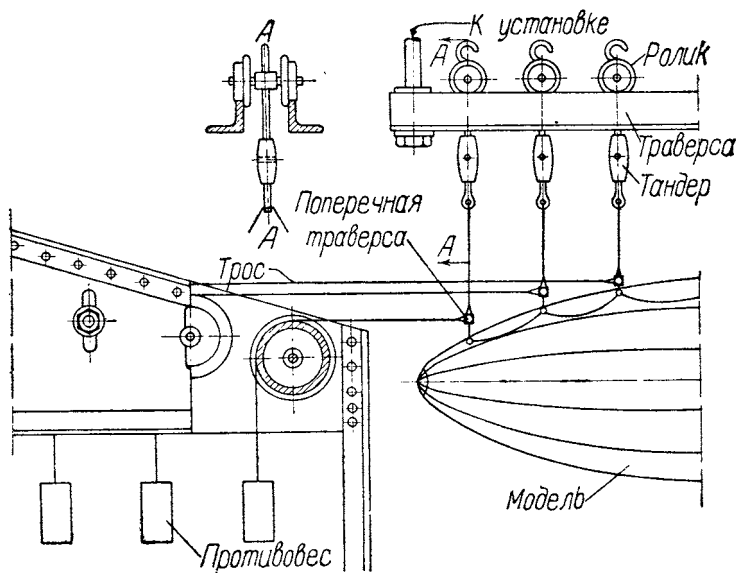


Фиг. 37. Схема подвески модели дирижабля ВУК-1.

вки всей системы подвесок и особенно приведения узлов катенарий в прежнее положение при изменении режима испытаний. Невнимательной регулировкой тандеров легко можно вызвать изгиб оси оболочки, что неоднократно случалось во время испытаний. При больших размерах модели указанное затруднение возросло бы, в особенности при наличии внутренней подвески.

Другой метод подвески (фиг. 37) был предложен для испытаний оболочки полужесткого дирижабля СССР В-7 объемом 9100 м³ иностранным специалистом инж. Ф. Трояни. К каждому узлу катенарий прикреплялась поперечная трубчатая траверса, фиксировавшая ширину киля. Трос внутренней подвески, заканчивающийся нарезанным стержнем, проходил сквозь отверстие в траверсе и фиксировался на ней барашковой гайкой, позволяющей регулировать высоту внутренней подвески. Каждая траверса прикреплялась с помощью ушков и болтов к прорези элементов шарнирной цепи. Элементы шарнирной цепи (по числу узлов катенарий) состояли из коробочек (согнутых из листо-

вой стали), имевших в отогнутых книзу стенках прорезы для крепления поперечных траверс, и соединялись между собой плоскими шарнирами наподобие дверных петель. За шарниры с помощью вертикальных подвесок с включенными тандерами шарнирная цепь была подвешена к основной траверсе установки. Таким образом, освободив несколько болты, которыми поперечные траверсы подвешивались к цепи, можно было давать свободное продольное перемещение узлам катенарий во время деформаций модели, а регулируя тандеры подвески цепи, сохранять плавность обвода модели.



Фиг. 38. Схема подвески модели дирижабля ДП-5.

По окончании деформаций модели и регулировки всей системы гравесы закреплялись в прорезах цепи, и дальнейшие обмеры на различных режимах производились без всяких последующих регулировок.

Установка оказалась чрезвычайно удобной, а результаты испытаний очень точными, что подтверждалось совпадением узлов киля и оболочки при сборке и получившейся плавностью формы дирижабля.

Описанные выше способы подвески моделей имеют один существенный недостаток. Они не дают возможности измерять горизонтальные и вертикальные составляющие усилий, возникающих в оболочках при изменении степени выполнения или внутреннего сверхдавления.

Для испытания модели полужесткого дирижабля ДП-5 объемом 50 000 м³ автором была предложена подвеска (фиг. 38), позволяющая определять эти составляющие. Здесь, так же как в подвеске модели дирижабля В-7, узлы катенарий соединяются между собой посредством поперечной траверсы, сквозь которую проходит и закрепляется барашком стержень внутренней подвески. Траверсы с помощью тро-

совой подвески подвешиваются к одному ушку тандера, другое ушко которого заканчивается крестовиной с насаженными на нее двумя роликами с ребордами. Эти ролики могут кататься по верхним граням продольной траверсы. Продольная траверса состоит из двух уголков, склепанных между собой с зазором для пропуска крестовин. Верхние грани полок уголков профрезерованы, для того чтобы образовать поверхность для катания роликов. Таким образом модель оказывается подвешенной за узлы катенарий к роликам, свободно катающимся по продольной траверсе, поэтому она может свободно деформироваться в продольном направлении. Тандеры и барашки внутренней подвески позволяют производить регулировку плавности меридианального обвода модели. По окончании деформаций и регулировки ролики могут закрепляться на траверсе посредством фиксаторов.

Для замера вертикальной составляющей крестовина каждого ролика имеет наверху крючок, за который зацепляется грузовая скоба специально сконструированных десятичных весов, так называемых «весов-велосипеда». Подтягивая с помощью грузовой скобы крестовину вверх до тех пор, пока ролики не начнут свободно проворачиваться, мы можем замерять вертикальное усилие в подвеске данного узла. Для замера продольных горизонтальных усилий, нужных для возвращения сместившихся узлов катенарий при изменении режима испытаний, служит горизонтальный трос, прикрепленный к поперечной траверсе модели. К свободному концу троса, перекинутого через блок, подвешивается нужный груз.

Проведение подобных испытаний дало бы возможность определить усилия, возникающие в киле от деформации оболочки, т. е. осветить одно из самых темных мест проектирования полужестких дирижаблей.

Значительно проще производится подвеска модели, если на основании предыдущих испытаний или практических данных, полученных с натуры, известна конфигурация нижней килевой части оболочки или верхнего пояса киля. В этом случае изготавливается из стальных труб с помощью сварки килевая ферма заданных размеров. Вначале модель прикрепляется к такой ферме с некоторой свободой, а затем, после окончания деформации, когда модель получает конфигурацию фермы, узлы катенарий окончательно фиксируются на ферме.

Таким образом производились гидростатические испытания оболочки дирижабля СССР-В6 объемом 18 500 м³. По практическим итальянским чертежам киля дирижабля N-1 была изготовлена сварная ферма из стальных труб. После наполнения модель имела длину большую, чем длина фермы (теоретическая длина оболочки 106 м, практическая 103 м), но затем, по мере деформирования, длина модели сократилась и совпала с размерами фермы. При такой подвеске перед производством обмеров модели на различных режимах давлений и наполнений оболочки необходимо было лишь отрегулировать высоту внутренней подвески.

Испытания моделей оболочек полужестких дирижаблей производятся следующим образом. Изготовленная модель наполняется воздухом до давления 60—80 мм вод. ст. При этом давлении производится обмер всех основных размеров модели: длин периметров всех поперечных сечений, длин меридианов, полной длины модели и т. д. и прове-

ряется совпадение полученных результатов обмеров с проектными данными. После этого из модели выпускают воздух и производят ее монтаж на подвеске того или иного типа. Для моделей, имеющих внутреннюю подвеску, при монтаже необходимо отрегулировать длины этой подвески по расчетным данным. Оставление внутренней подвески свободной вызывает в материи оболочки чрезмерные деформации вследствие возникновения в ней больших, чем расчетные, напряжений.

Смонтированная на подвеске модель с отрегулированной внутренней подвеской наполняется водой. Наполнение производят с помощью мерных бачков, а под конец с помощью мерных стаканов, тщательно записывая количества влитой воды. Уровень воды в модели доводится до горизонтальной плоскости, проходящей через наинизшую (для модели наивысшую) точку поперечного сечения миделя ($p_0 = 0$). В некоторых случаях для ускорения процесса деформирования материи сразу после наполнения модели дают некоторое сверхдавление, обычно 12 мм вод. ст. (360 мм вод. ст. для модели). При этом производится предварительная регулировка подвески с целью получения плавной формы оболочки.

Как было указано выше, деформации материи достигают своей конечной величины по прошествии некоторого времени. Этот процесс, называемый старением, характеризуется увеличением объема модели и нормально продолжается от 12 до 16—18 суток. В течение всего процесса старения ежедневно в один и тот же час производятся доливка воды в модель до начального уровня и обмеры всех тех величин, которые определялись на модели, наполненной воздухом.

Полученные данные записываются в составленный по особой форме журнал испытаний, по данным которого строятся графики изменения основных размеров модели по времени. График увеличения объема является характерным показателем степени старения модели. В этот график необходимо вводить поправки на изменения температуры воды. Процесс старения считается законченным, когда суточное увеличение объема не превышает 0,5 % от полного объема модели. Во время старения производят регулировку подвески модели с тем, чтобы ее меридианальные обводы сохраняли свою плавность.

По окончании старения приступают к испытаниям модели на различных режимах. Перед этими испытаниями производится окончательная регулировка меридианального обвода и внутренней подвески. Целью регулировки внутренней подвески является получение максимального объема модели и плавности меридианального обвода. Для этого давление внутри модели доводят до расчетной величины и производят подтягивание внутренней подвески. Изменение объема определяется по показаниям манометра: падение давления указывает на увеличение объема. Подтягивание подвески продолжается до тех пор, пока опускающийся манометр не начнет снова подниматься. Чтобы точнее уловить регулировку, соответствующую максимальному объему, наблюдения за давлением желательно вести по наклонному манометру, более чувствительному, чем вертикальный. При подтягивании подвески для получения максимального объема, необходимо следить за плавностью меридианального обвода.

Окончательная регулировка плавности производится по установлению максимального объема модели. Для этого давление в модели доводят до расчетной величины и снимают с помощью катетометра ординаты верхнего и нижнего обвода модели. По полученным ординатам в утрированном масштабе (например, абсциссы в масштабе 1 : 10, ординаты 1 : 1) строят чертеж обвода. При этом выпавшие точки сглаживают и производят окончательное выравнивание подвески.

При последующих изменениях режимов давлений и наполнений могут обнаруживаться некоторые неплавности обвода, но дополнительных регулировок уже не производят, сохраняя принятую регулировку в течение всех испытаний. Этими испытаниями являются:

1. Полностью выполненная модель, давления в нижней (для модели в верхней) точке миделя: 0 мм, 12 мм (360 мм), 20 мм (600 мм). В скобках даны давления для модели в высоте водяного столба.

2. Из модели выпущен объем воды, соответствующий весу оболочки; режимы давлений (по воздушному манометру) те же, что и в первом случае.

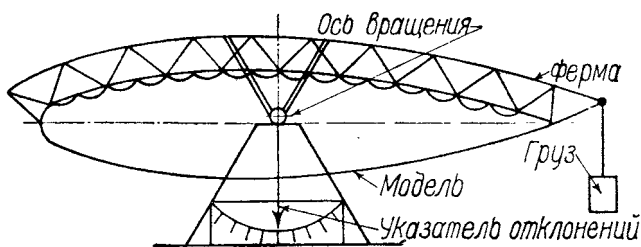
3. Из модели выпущен дополнительно объем воды, соответствующий выполнению баллонетов на 0,5 их полного объема. Давления (по воздушному манометру) те же, что в п. 1.

Таким образом мы получаем 9 режимов испытаний. На каждом режиме производится замер всех тех величин, что и в процессе старения. Кроме того, измеряют оси нанесенных на оболочку кругов, деформирующихся в эллипсы, и снимают формы поперечных сечений во всех узлах катенарий и местах расположения диафрагм. По деформациям кругов, нанесенных на оболочку, с помощью нормальных и касательных характеристик определяют распределение напряжений в оболочке, а по снятым поперечным сечениям строят так называемые паспорта поперечных сечений. Паспортом поперечного сечения называют чертеж, на котором наложены друг на друга очертания данного поперечного сечения при всех режимах с отметкой координат каждого очертания, их площадей и натяжений оболочки и подвесок.

Кроме того, на каждом режиме испытаний производится с помощью нивелиров или катетометров съемка верхнего и нижнего обвода модели и измеряются расстояния по оси модели между поперечными сечениями. Имея паспорта сечений, расстояния между ними, а также верхний и нижний обводы, можно построить практические чертежи оболочки при различных режимах и по этим чертежам определить все данные, необходимые для дальнейшего проектирования: очертания и размеры килевой фермы, объемы и положения центров объемов, очертание модели в районах носового усиления и кормового развития и т. д.

Изложенная выше схема испытаний относится к нормальным, так называемым производственным, испытаниям оболочек полужестких дирижаблей и, конечно, не исчерпывает собой все возможности, предоставляемые гидростатическим методом для работ в области исследования поведения оболочки. Одним из таких испытаний является определение статической устойчивости дирижабля при различных степенях выполнения баллонетов, различной их конструкции и различных же диафрагмах. Для этих испытаний применяются так называемые пол-

ные модели, т. е. имеющие внутренние баллонеты и диафрагмы, имитирующие натуру. Модель укрепляется на жесткой килевой ферме, размеры и конфигурация которой определяются на основании предшествующих нормальных испытаний. Ферма укрепляется на установке так, чтобы вся система могла свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной к плоскости симметрии модели и проходящей через точку, соответствующую теоретическому положению центра тяжести судна (фиг. 39). Наполненная и отрегулированная



Фиг. 39. Схема установки для испытания моделей на устойчивость.

по данным нормальных испытаний модель уравнивается на установке в горизонтальном положении с помощью противовесов. К установке присоединяется указатель, фиксирующий углы отклонения модели. Подвешивая к одному из концов фермы какой-либо груз, мы создаем момент, наклоняющий модель на некоторый угол. По прошествии некоторого промежутка времени после подвешивания груза (обычно 30 сек.) фиксируется угол отклонения модели, после чего груз увеличивается. Эта операция продолжается до отклонения модели на некоторый предельный угол, обычно не выше $25\text{--}30^\circ$. Затем производится разгрузка и нагрузка в обратном направлении.

Такие испытания производятся для различных степеней выполнения баллонетов, на различных давлениях и при различных схемах соединения между собой газовых и воздушных отсеков. Полученные данные представляются в виде кривых. Расхождение между кривыми нагрузки и разгрузки и является мерой устойчивости модели. Сравнение кривых, полученных при различных вариантах конструкции, позволяет выяснить влияние на устойчивость судна различных систем баллонетов и диафрагм.

Такого рода испытания производились в лаборатории Научно-исследовательского отдела Дирижаблестроя для полной модели дирижабля В-6 объемом $18\,500\text{ м}^3$. Эти испытания, давшие много интересных результатов, показали на необходимость разделения воздушного пространства на независимые отсеки, так как при соединенных баллонетах оболочка оказывалась неуравновешенной и незначительные моменты отклоняли оболочку на большие углы. Методика этих испытаний окончательно не установлена, но возможность определения этим путем статической устойчивости дирижаблей, безусловно, очень велика.

Раздел III

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВОБОДНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ АЭРОСТАТОВ

§ 1. ПРИМЕНЕНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ АЭРОСТАТОВ

Первыми практически примененными летательными аппаратами были сферические свободные аэростаты.

Изобретателями сферических аэростатов, использовавшими в качестве подъемного газа нагретый воздух, являются братья Монгольфье. Их изобретение, сделанное в 1783 г., было в том же году усовершенствовано проф. Шарлем, применившим в качестве подъемного газа водород.

В настоящее время сферические аэростаты имеют следующее применение:

- 1) тренировка военных воздухоплавателей для освоения техники свободного полета в случае обрыва троса привязного аэростата;
- 2) тренировка пилотов дирижаблей для освоения техники статического управления воздушным кораблем;
- 3) изучение различных метеорологических факторов, высоких слоев атмосферы (стратостаты), влияния солнечных лучей на разогрев оболочек и подъемного газа и т. д.;
- 4) спортивные и агитационные полеты, организуемые при сравнительно небольших затратах при наличии дешевого газа.

§ 2. СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ СФЕРИЧЕСКИХ АЭРОСТАТОВ

Свободный аэростат состоит из следующих частей (фиг. 40 и 41).

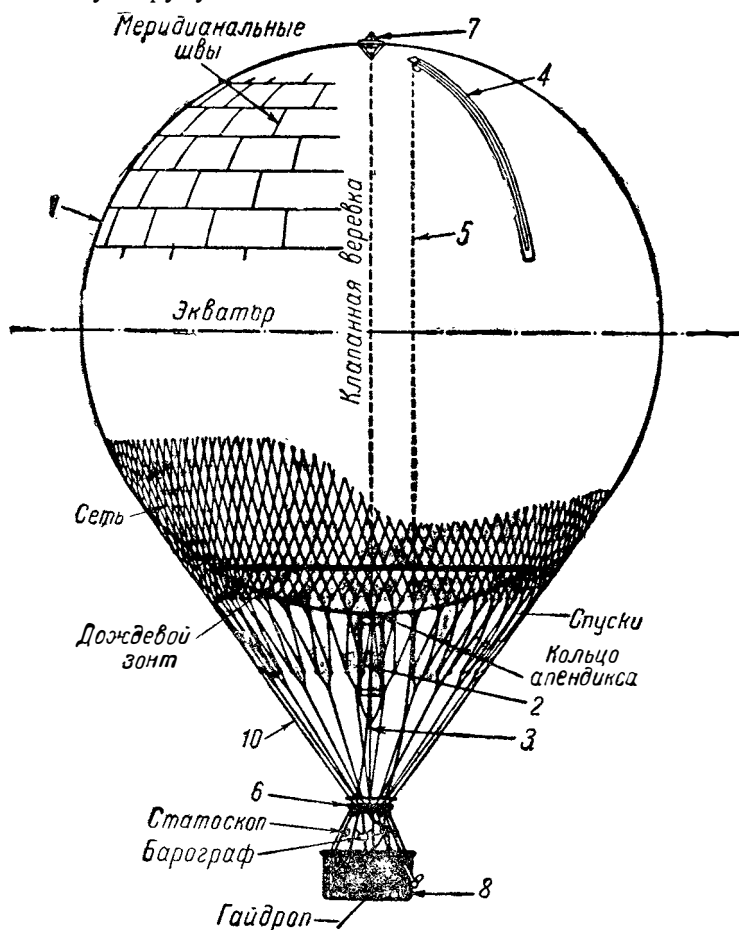
Оболочка 1 почти всегда сферической формы, дающей минимальную поверхность и вес при данном объеме. Оболочка изготавливается из газонепроницаемой материи.

Апендикс 2 служит для наполнения оболочки газом, а в полете — для выпуска из нее расширяющегося при подъеме газа. Во избежание вдавливания оболочки при быстром спуске апендикс снабжается уздечкой 3, прикрепляемой к его кольцу. Иногда для впуска воздуха внутрь оболочки при спуске, апендикс снабжается жестким кольцом (кольцо Пешля).

Разрывное полотнище 4 служит для быстрого выпуска газа при посадке, что дает возможность избежать тренажа аэростата. Оно отрывается пилотом при помощи разрывной вожжи 5, проходящей внутри оболочки и закрепленной у верха разрывного полотнища.

Вожжа выводится через апендикс и крепится к подвесному обручу 6 (строповому кольцу).

Клапан 7 предназначен для выпуска газа из оболочки. Он расположен в верхней точке оболочки и управляется пилотом с помощью веревки, проходящей внутри оболочки и выведенной через апендикс к подвесному обручу.



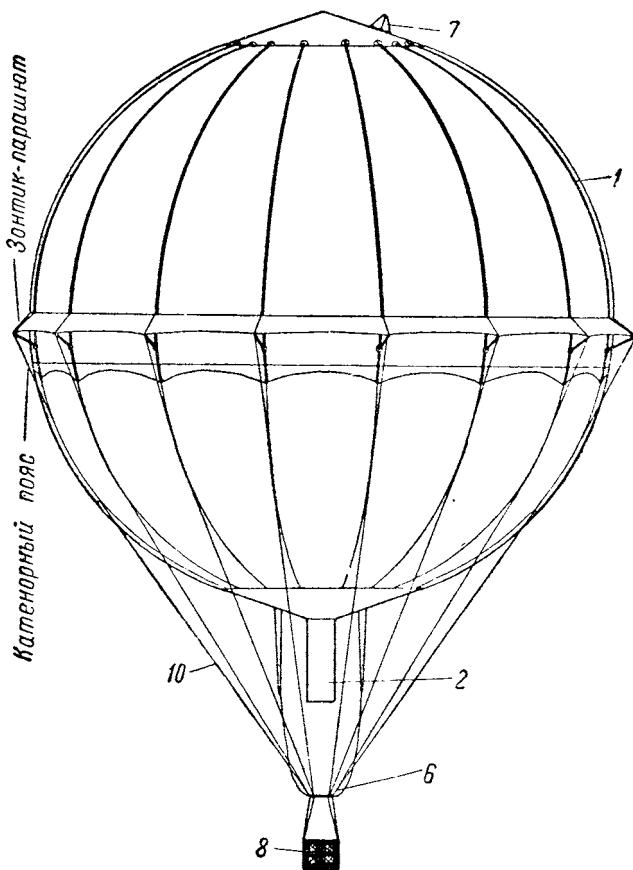
Фиг. 40. Сферический аэростат с сетью.

Подвеска служит для передачи оболочке веса корзины 8; она состоит из пояса (фиг. 41) или сети (фиг. 40), охватывающей оболочку, спусков и строп 10, присоединяемых к подвесному обручу, к которому подвешивается корзина. Кроме того, сеть или пояс должны иметь приспособления для крепления поясных веревок, необходимых при газонаполнении и маневрировании с аэростатом на земле.

В корзине размещаются экипаж и балласт. Корзина плетется обычно из камыша или гибких прутьев и иногда снабжается амортизирующим приспособлением или поплавком при полетах над морем.

Гайдроп служит для автоматического регулирования высоты при низком полете. При посадке тормозит, уменьшая вертикальную и поступательную скорости аэростата.

Изготавливается из толстого каната, вес и длина которого зависят от подъемной силы аэростата. Крепится к подвесному обручу со стороны разрывного полотнища.



Фиг. 41. Сферический аэростат с поясом.

Земной якорь, являвшийся раньше обязательной принадлежностью аэростата, в настоящее время не применяется ввиду введения разрывных приспособлений. При полетах над морем применяются морские якоря в виде конического парусинового мешка.

Балласт, как и клапан, является средством управления высотой полета и берется на борт в виде сухого просеянного песка, насыпанного в матерчатые мешки.

§ 3. КЛАССИФИКАЦИЯ СФЕРИЧЕСКИХ АЭРОСТАТОВ И НОРМЫ

Объемы оболочек сферических аэростатов, принимающих участие в международных воздухоплавательных состязаниях, нормализованы и разбиты на категории Международной аэронавтической федерацией (FAI).

Некоторые данные наиболее распространенных типов приведены в табл. III. В этой таблице вес человека принят равным 80 кг, а балластного мешка 15 кг.

Таблица III

1	2	3		4		5	
Категория	Объем м ³	Пределы объема, м ³		Пределы диаметра, м		Пределы окружности м	
		-50/0	+50/0	-	+	-	+
№ 1	600	570	630	10,297	10,635	32,249	33,441
№ 2	900	855	945	11,776	12,175	36,995	38,249
№ 3	1200	1140	1260	12,052	13,401	40,690	42,100
№ 4	1600	1520	1680	14,265	14,759	44,814	46,366
№ 5	2200	2090	2310	15,863	16,401	49,835	51,525
№ 6	3000	2850	3150	17,590	18,183	55,261	57,124
№ 7	4000	3800	4200	19,343	20,018	60,770	62,889

1	6		7		8
Категория	Водород с $\phi = 1,02$ кг/м ³		Светильный газ с $\phi = 0,67$ кг/м ³		Примечание
	Экипаж	Балласт (мешки)	Экипаж	Балласт (мешки)	
№ 1	4	6	2	3	Данные граф 6 и 7 для объема в 991 м ³ (35 000 куб. фут.)
№ 2	6	16	3	10	
№ 3	—	—	—	—	Данные граф 6 и 7 для объема в 1416 м ³ (50 000 куб. фут.)
№ 4	9	30	5	12	
№ 5	14	50	8	20	Для объема в 2265 м ³ (80 000 куб. фут.)
№ 6	—	—	—	—	
№ 7	—	—	—	—	

Табл. IV дает сводку основных технических требований, предъявляемых к нормальным сферическим аэростатам с сетью и открытым апендиксом, наполненным светильным газом с удельной подъемной силой в 0,735 кг/м³. Длина апендикса принимается равной четырем его диаметрам.

Таблица IV

Объем	м³	566	708	849	991	1416	1841	2265
Минимальный вес гай- дропа	кг	6,8	8,6	10,4	12,3	16,8	22,2	27,2
Минимальная длина гай- дропа	м	41,15	44,5	47,23	49,68	55,78	60,9	65,23
Минимальный диаметр клапана	мм	305	322	360	381	445	500	542
Минимальный диаметр апендикса	мм	320	360	394	424	510	580	644
Максимальное сверхда- вление (по верху) . . . }	мм вод. ст.	8,5	9,2	9,9	10,4	11,8	13,0	13,9
Максимальное натяжение материи	кг/м	21,8	25,4	28,9	32,0	41,0	49,2	54,4
Разрушающее напряжение материи (запас прочно- сти 10)	кг/м	218	254	289	320	408	492	560
Повышение напряжения материи при увеличен- ии сверхдавления на 5 мм вод. ст.	кг/м	12,5	13,5	14,35	15,1	17,0	18,6	19,7
Повышение напряжения материи при удлинении апендикса на 305 мм . .	кг/м	0,58	0,62	0,65	0,70	0,79	0,85	0,91

Технические требования, предъявляемые к различным деталям свободных аэростатов, регламентированы Американским авиационным кодексом безопасности (часть 8, гл. 80—84) и приведены ниже, при рассмотрении методов расчета этих деталей.

Относительно общих размеров аэростата можно указать, что подвесное кольцо принято располагать на расстоянии, равном диаметру оболочки от ее центра, хотя это расстояние и может быть уменьшено. Иногда для определения размеров подвески аэростата за исходную данную принимают угол между направлением строп и вертикалью, равный приблизительно 35°.

§ 4. ВЕСА И ОБОРУДОВАНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ АЭРОСТАТОВ

При составлении проекта аэростата по определенному заданию необходимо знать примерные веса конструкции и оборудования.

Приблизительно половину веса аэростата составляет вес оболочки, хотя это соотношение и может изменяться в ту или другую сторону в зависимости от назначения и конструкции аэростата.

Беря определенную материю, вес оболочки Q_1 можно определить по формуле:

$$Q_1 = 1,25\pi D^2 p. \quad (45)$$

Здесь p — вес квадратной единицы материи, D — диаметр аэростата и 1,25 — коэффициент, учитывающий утяжеление оболочки за счет швов, апендикса, разрывного полотнища, клапанного усиления и пр.

Вес сети Q_2 почти пропорционален объему аэростата и для хлопчатобумажной сети вместе со стропами равен:

$$Q_2 = 0,04U \quad (46)$$

и для льняной сети:

$$Q_2 = 0,06U. \quad (47)$$

При U в m^3 обе формулы дают вес в кг.

Вес клапана с проводкой, подвесного кольца и т. п. при D в м может приниматься равным:

$$Q_3 = 0,027\pi D^3 \text{ кг}. \quad (48)$$

Вес гайдропа должен приниматься равным:

$$Q_4 = 0,01 \text{ до } 0,015U\phi \text{ кг}, \quad (49)$$

где U — объем аэростата в m^3 ;

ϕ — удельная подъемная сила газа в $кг/м^3$.

Вес корзины зависит от ее размеров. Корзина для 2 чел. весит 22,7 кг, для 8 чел. — 68,1 кг.

Кроме веса конструкции, необходимо учитывать следующие веса:

1) приборов: альтиметр, термометр, анероид, барограф, статоскоп или вариометр, компас, набор карт, карманные фонари с запасными батареями; общий вес приблизительно 8 кг;

2) оборудования: укупорочный брезент для оболочки, чехол для корзины, ящик для клапана; общий вес приблизительно 20 кг;

3) снаряжения и провизии для экипажа: общий вес определяется в зависимости от условий и продолжительности полета; при полетах над морем требуется дополнительное спасательное оборудование.

§ 5. РАСЧЕТ И РАСКРОЙ СФЕРИЧЕСКОГО АЭРОСТАТА

Для расчета сферического аэростата на прочность следовало бы принять во внимание следующие расчетные случаи: 1) старт при безветрии, 2) старт при ветре определенной силы, 3) статический полет при полной нагрузке, 4) посадка и тренаж.

Два первых случая являются основными для расчета поясных веревок и их креплений к оболочке, а также и самой оболочки в местах крепления поясных.

Способы определения нагрузки отдельных поясных и сила ветра не регламентированы какими-либо нормами. Примерный расчет поясных дается ниже.

Для полета с максимальной загрузкой (третий случай) статические нагрузки берутся наибольшими.

Нагрузки, возникающие при тренаже, ввиду их неопределенности при расчете не учитываются. Запасы прочности, регламентированные соответствующими нормами, выбраны на основе эксплуатационных данных.

Сферическая форма оболочки свободного аэростата не позволяет развернуть ее на плоскость, поэтому применяются два приближенных метода раскроя, оправдавших себя на практике. Первый метод основан на замене сферической поверхности рядом сопряженных усеченных

конусов, длина образующих которых определяется шириной применяемой материи (фиг. 42). Боковые поверхности этих усеченных конусов разбиваются швами на ряд трапеций. Полотнищем оболочки в этом случае называется ряд трапеций, ограниченный двумя соседними меридианальными швами.

Этот метод раскроя представляет ряд практических затруднений при изготовлении шаблонов, ввиду необходимости аналитических вычислений для построения дуг, очерчивающих трапеции по параллелям. Кроме того, этот метод дает большое количество отходов материи вследствие указанного очертания трапеций.

Раскрой производится следующим образом.

Из фиг. 42 имеем:

$$B = \frac{H \cdot r_1}{r_2 - r_1}, \quad (50)$$

где r_1 и r_2 — радиусы окружностей, ограничивающих данное кольцо; H — ширина кольца по образующей конуса.

Из фиг. 43 имеем:

$$\varphi^\circ = \frac{\pi \cdot r_1}{n \cdot B} 57.296^\circ, \quad (51)$$

где n — число полотнищ;

$$l_1 = 2B \cdot \sin \varphi; \quad (52)$$

$$l_2 = 2(B + H) \sin \varphi; \quad (53)$$

$$d_1 = B - B \cdot \cos \varphi = B(1 - \cos \varphi); \quad (54)$$

$$d_2 = (B + H)(1 - \cos \varphi). \quad (55)$$

Величина H выбирается из условия:

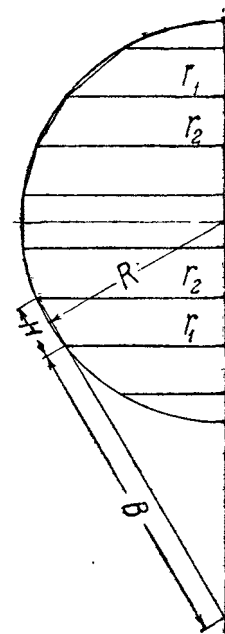
$H + d_1$ + ширина пересклейки = ширине материи.

Отсюда видно, что величина H не постоянна, а изменяется вместе с B и φ , и, следовательно, количество отходов зависит от значений этих же величин.

Достоинства этого метода заключаются в большем приближении к точному раскрою сферы.

Другой метод раскроя заключается в замене поверхности сферы рядом цилиндрических поверхностей, направляющими которых служат меридианальные дуги сферы. Этот способ более распространен, так как он удобнее для изготовления шаблонов и дает меньше отходов. Для построения теоретического чертежа такого полотнища необходимо выпрямить дугу меридианального круга и через соответствующие интервалы отложить ширину полотнища. Длина S интервала (части) дуги меридиана (фиг. 44) равна:

$$S = R \cdot \alpha, \quad (56)$$



Фиг. 42. Схема раскроя оболочки по усеченным конусам.

где R — радиус оболочки;

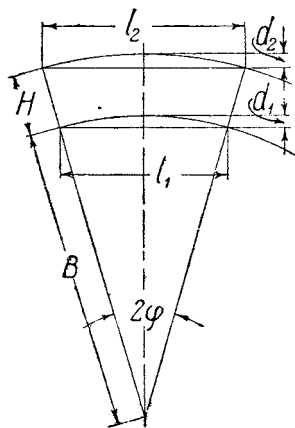
α — центральный угол.

Полуширина полотнища равняется:

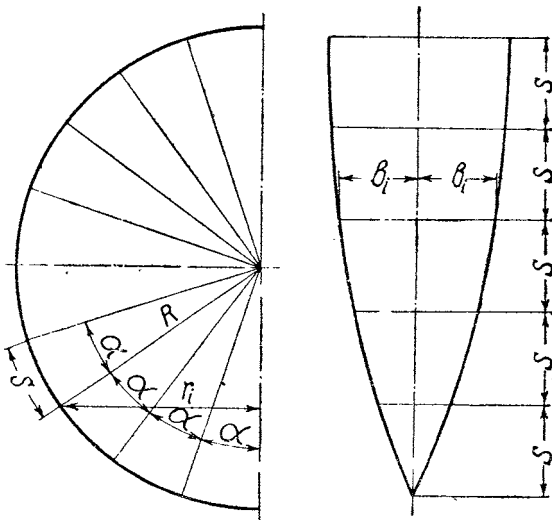
$$b_i = \frac{\pi \cdot r_i}{n} = \frac{\pi R \cdot \sin(i\alpha)}{n}, \quad (57)$$

где n — число полотнищ оболочки, а i — номер интервала, считая от полюса аэростата. Число полотнищ для обеспечения правильной формы оболочки желательно брать не менее 10.

Для удобства и быстроты производства раскроя в книге Эпсона «Свободные аэростаты» дан чертеж типового полотнища сферического



Фиг. 43. Геометрия раскроя трапеции.



Фиг. 44. Схема меридианального раскроя

аэростата. Это полотнище показано на фиг. 45, на которой D — диаметр оболочки и w — ширина полотнища по экватору.

Такое полотнище или выкраивают целиком из одного куска материи, направляя основу вдоль меридиана, или разбивают на трапеции, направляя основу перпендикулярно к оси полотнища. Первый способ применяют для небольших аэростатов, чтобы избежать поперечных швов. В этом случае ширину полотнища по экватору, учитывая швы, берут равной ширине материи. Чтобы избежать больших отходов и местной жесткости из-за частых швов у полюсов, полотнища в этих местах обычно сдваивают. Второй способ, увеличивая длину поперечных швов, уменьшает отходы материи. С целью избежать местной жесткости поперечные швы обычно располагают в шахматном порядке.

Определение натяжения материи оболочки производится по следующей формуле Ренара:

$$\sigma = \frac{R(2R + h)\phi}{2}, \quad (58)$$

где R — радиус оболочки;
 h — длина апендикса;
 ϕ — удельная подъемная сила газа.

При выводе этой формулы предполагается, что оболочка имеет неизменную сферическую форму с радиусом R . Натяжение сферической оболочки, наполненной газом, согласно формуле (9), будет равно:

$$\sigma = \frac{R}{2} \cdot p.$$

Наибольшее сверхдавление в оболочке очевидно будет в наивысшей точке. При нулевом сверхдавлении внизу оно равно:

$$p = (2R + h) \phi,$$

где h — длина апендикса.

Подставив это значение p в выражение σ , получим формулу Ренара.

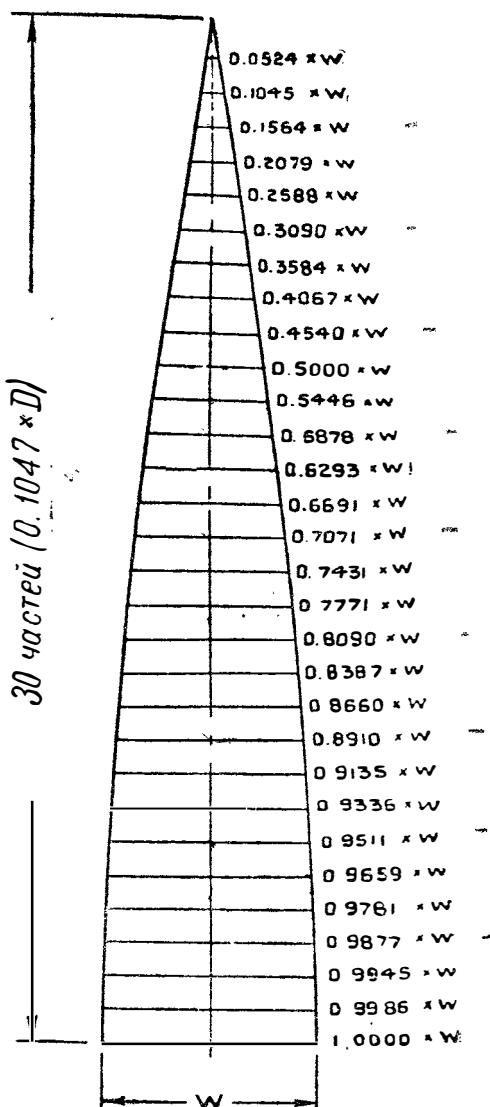
Для аэростатов с сетью эта формула имеет условное значение, так как оболочка, выпучиваясь в клетки сети, получает кривизну, отличную от кривизны сферы радиуса R .

Для обеспечения эксплуатационной выносливости оболочки берут запас прочности равным 10.

Для аэростатов с сетью объемом до 2000 м³ может применяться или однослойная лакированная материя или, как это теперь принято, двухслойная диагонально дублированная прорезиненная материя, окрашенная в желтый цвет.

Газопроницаемость в 30 л/м² в сутки является допустимой.

Швы небольших оболочек делаются обычно однострочечными с пересклейкой в 15 мм, для больших оболочек — двухстрочечными с пересклейкой до



D = Диаметр оболочки

N = Число полотнищ

W = Ширина полотнища по экватору

$$W = \frac{3.1416 \times D}{N}$$

Фиг. 45. Раскрой полотнища фераэростата по Эпсону.

20 мм. Одна наружная и одна внутренняя ленты обеспечивают газо-непроницаемость шва.

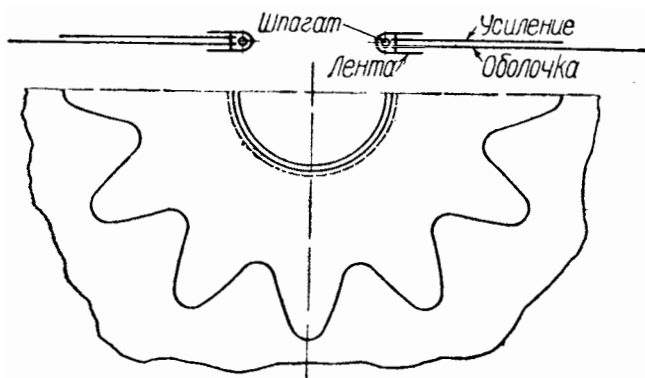
В верхнем полюсе оболочка снабжается клапанным усилением, одна из типовых конструкций которого изображена на фиг. 46. Внизу оболочки к ней прикрепляется апендикс. Минимальные диаметры апендиксов для аэростатов различных кубатур, приведенные в табл. IV, определены на основании требования, чтобы апендикс выпускал в минуту $\frac{1}{30}$ объема аэростата при разности давления в 5 мм вод. ст.

Определение площади F поперечного сечения апендикса может быть произведено по обычной формуле гидравлики:

$$F = \frac{Q}{k \sqrt{\frac{2gp}{\gamma_r} \left(\frac{\gamma_b}{\gamma_r} \right)}}, \quad (59)$$

где Q ($\text{м}^3/\text{сек}$) — секундный расход газа;

k — коэффициент, зависящий от потери давления на преодоление



Фиг. 46. Клапанное усиление сфероаэростата.

трения, от поджатия струи и пр.; этот коэффициент, называемый коэффициентом расхода, обычно принимается равным 0,6;

$p \approx 5 \text{ кг/м}^2$ — сверхдавление газа;

g (м/сек^2) — ускорение силы тяжести;

γ_b — удельный вес воздуха;

γ_r — удельный вес газа.

Полученную таким образом площадь поперечного сечения апендикса из практических соображений часто увеличивают.

К расчету апендикса можно подойти другим методом, предложенным инж. Р. В. Пяташевым, исходя из условия, что при некоторой заданной скорости взлета аэростата повышение натяжения материи не должно превышать определенной величины. Приняв скорость взлета в 7 м/сек , удельную подъемную силу газа в $1,1 \text{ кг/м}^2$ и повышение натяжения оболочки не более чем в полтора раза по сравнению с нормальным, легко можем определить необходимый диаметр апендикса как функцию радиуса аэростата.

Максимальное натяжение оболочки при уровне газа на высоте верхнего края апендикса будет равно:

$$T_0 = \frac{R \cdot 2R \cdot \phi}{2} = R^2 \phi. \quad (60)$$

При некотором повышенном давлении p_0 кг/м² натяжение оболочки будет:

$$T_1 = \frac{R}{2} (2R\phi + p_0). \quad (61)$$

По заданию $T_1 = \frac{3}{2} T_0$ и, следовательно:

$$\frac{R}{2} (2R \cdot \phi + p_0) = \frac{3}{2} R^2 \cdot \phi. \quad (62)$$

Открывая скобки и решая уравнения относительно p_0 , имеем:

$$p_0 = R \cdot \phi = 1,1 R. \quad (63)$$

Расход газа через апендикс при данной скороподъемности w будет:

$$Q = \frac{U \cdot w}{8000} = \frac{4\pi \cdot R^2 w}{3 \cdot 8000} = 0,003663 R^3. \quad (64)$$

Скорость истечения газа из апендикса при сверхдавлении p_0 будет:

$$v = \sqrt{\frac{2gp_0}{\delta}} = \sqrt{\frac{2g \cdot \phi \cdot R}{\delta}} = 8,64 R^{\frac{1}{2}}, \quad (65)$$

где $\delta = 0,289$ кг — вес 1 м³ водорода.

Сечение апендикса может быть определено по расходу и скорости истечения:

$$F = \frac{Q}{k \cdot v} = \frac{0,003663 R^3}{0,6 \cdot 8,64 R^{\frac{1}{2}}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

где k — коэффициент расхода, принятый равным 0,6;

d — диаметр апендикса.

Отсюда определяем диаметр апендикса:

$$d = 0,0303 R^{\frac{5}{4}}. \quad (66)$$

Для аэростата объемом 2200 м³ имеем:

$$R = 8,05 \text{ м}; \quad R^{\frac{5}{4}} = 13,93 ; \\ d = 0,0303 \cdot 13,93 = 0,422 \text{ м} = 422 \text{ мм}.$$

Длина апендикса не должна быть меньше его диаметра, но обычно принимается равной 4 d .

Апендикс представляет цилиндрический матерчатый шланг, прикрепляющийся к усилению на нижнем полюсе оболочки. Нижний край апендикса усиливается забортованной веревкой.

В некоторых конструкциях аэростатов апендикс изготавливается в виде отдельного шланга, присоединяемого к оболочке с помощью двух деревянных колец, стягиваемых друг с другом болтами с барашками (фиг. 47).

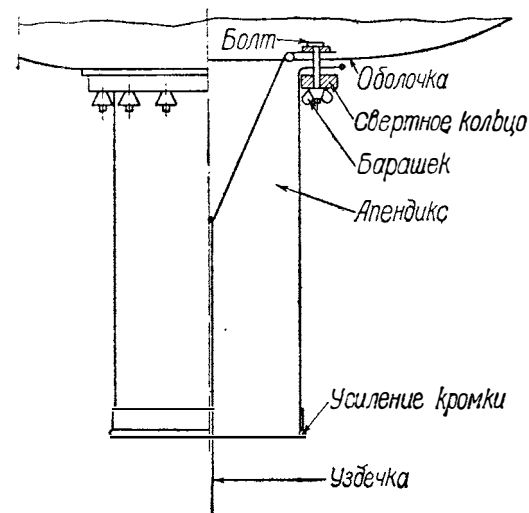
Расчет газового клапана производится из условия пропускания в 1 мин. $\frac{1}{30}$ газового объема аэростата при нулевом сверхдавлении на уровне отверстия апендикса. Определение площади необходимого сечения производится по той же формуле, что и для апендикса. Полученное по расчету сечение часто увеличивают до величины, указанной в табл. IV, так как уменьшение чистоты газа уменьшает скорость его истечения. Кроме того, при интенсивном разогреве газа солнечными лучами сечений апендикса и клапана, вычисленных по формуле (59),

может не хватить.

В сферических аэростатах применяются обычно клапаны одинарного действия, открываемые пилотом. Автоматическим клапаном является апендикс. Конструкция клапана должна быть максимально проста и надежна, а усилие, требующееся от пилота для открывания клапана (с учетом газового сверхдавления), не должно быть выше 8—16 кг.

Описание клапанов сферических аэростатов приведено ниже, в разделе VIII.

Размеры разрывного полотнища надо выбирать из условий выпуска газа в та-



Фиг. 47. Крепление апендикса к оболочке на свертных кольцах.

ком количестве, чтобы, с одной стороны, обеспечить аэростат от тренажа при посадке, а с другой стороны, избежать сильного удара корзиной о землю.

Американские источники требуют, чтобы разрывное могло выпустить в течение первой минуты не менее 30% объема аэростата. Определение отверстия разрывного, отвечающего этому требованию, затрудняется тем, что коэффициент потерь формулы (59) при выходе газа из полошущей оболочки нельзя определить ни теоретически, ни практически.

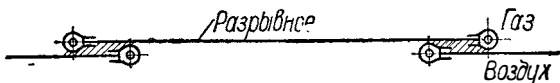
Более целесообразным представляется применение чисто эмпирической формулы, связывающей площадь разрывного с диаметром оболочки:

$$A = \frac{D^2}{100}, \quad (67)$$

где A — площадь разрывного в м^2 , а D — диаметр аэростата в м .

Разрывное располагается в верхней части оболочки, причем расстояние между вершиной разрывного и клапанном усилением делается равным около 1 м. Для аэростатов с поясной подвеской угол при вершине разрывного полотнища выбирается между 30 и 60°; рекомендуется брать 60°, чтобы разрывное было короче. Конструктивно разрывное может выполняться следующими способами.

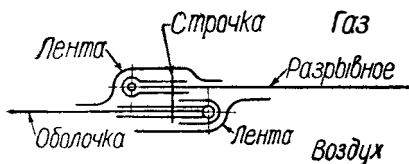
1. Отверстие в оболочке (фиг. 48) усиливается по краям наложенной материей и забортованной в край веревочкой. Язык разрывного делается с каждой стороны на 25—30 мм шире отверстия в оболочке и также усиливается наложенной материей и забортованной веревкой.



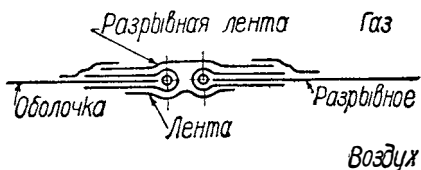
Фиг. 48. Приклейка разрывного полотнища.

Выступающие края наклеиваются на оболочку. Раскрытие разрывного происходит путем отрывания приклеенного языка. Конструкция очень проста и повторные заклейки разрывного производятся без всякой замены каких-либо деталей. Недостатком является то, что приклепку языка приходится производить перед самым наполнением аэростата во избежание чересчур крепкого соединения разрывного с оболочкой. Приклейка должна производиться очень тщательно во избежание самопроизвольного вскрытия разрывного в полете. Эта конструкция применима на аэростатах с сетью и на небольших аэростатах с поясной подвеской (до 1400 м³).

2. Отверстие в оболочке и края языка (фиг. 49) усиливаются так же, как в первом случае. Наложённые на оболочку края языка не



Фиг. 49. Пришитое разрывное полотнище.

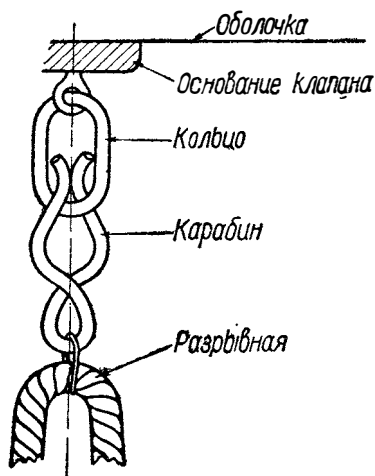


Фиг. 50. Разрывное полотнище, заделанное на ленте.

приклеиваются к оболочке, а только пришиваются на швейной машине и заклеиваются сверху лентами. При вскрытии разрывного нитки строчки рвутся и ленты отклеиваются. Достоинством этого типа является то, что усилие, требующееся для вскрывания разрывного, мало зависит от степени схватывания клея. При вторичном заклеивании разрывного строчка производится на некотором расстоянии от старой. Описанное разрывное легко может вскрыться от повышенного натяжения оболочки, а потому допускается к применению только на аэростатах с сетью. После некоторого числа полетов приходится менять усиления языка и отверстия.

3. Оболочка разрезается по линиям очертания отверстия. Края языка и отверстия усиливаются так же, как в первом случае. Изнутри оболочки на щель наклеивается (фиг. 50), а в некоторых случаях

и нашивается, разрывная лента с нитями, направленными параллельно краям отверстия. Для двухслойных лент должна применяться параллельно дублированная материя. Разрывная лента заделывается снаружи по щели и изнутри по кромкам однослойной ленточкой. Верх-



Фиг. 51. Закрепление разрывной вожжи на карабине.

ние концы разрывной ленты слегка надрезаются так, что при вскрытии разрывного происходит ее разрыв по нитям. Величина разрывающего усилия не зависит от приклейки.

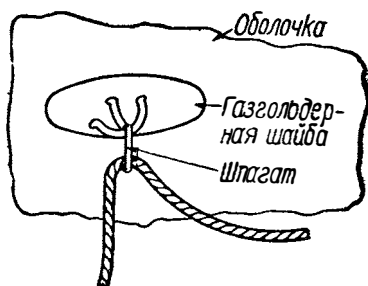
Прочность разрывного должна быть равна или больше прочности самой оболочки. Ввиду сложности замены это разрывное применяется исключительно на больших аэростатах с поясной подвеской.

Во всех конструкциях разрывных необходимо обращать особое внимание на заделку верхнего угла с достаточной прочностью и полной газонепроницаемостью при возможно малой площади склейки. Большая площадь приклейки верхнего угла может привести к тому, что разрывное не удастся вскрыть.

Нижние концы щели должны быть также усилены во избежание разрыва оболочки. Крепление петли разрывной вожжи к углу языка разрывного не должно допускать отрывания петли от языка без вскрытия разрывного. Все эти части, включая и разрывную вожжу, должны быть рассчитаны на нагрузку в 240 кг (вес 3 чел.). Разрывная вожжа, образуя свободную петлю приблизительно в 1 м, должна быть закреплена на оболочке во избежание случайного вскрытия разрывного.

В прежних конструкциях (фиг. 51) к разрывной вожже прикреплялся карабин, надевавшийся с усилием на кольцо, закрепленное на основании клапана. Карабин должен быть надет на кольцо так, чтобы он мог срываться от нагрузки в 15—20 кг. Такая конструкция не вполне удачна вследствие наличия в газовом пространстве металлического карабина и кольца, а также неопределенности усилия, требующегося для срывания карабина. В практике бывали случаи, что при неправильно одетом карабине для срыва его требовалось усилие 3 чел.

Более рациональная конструкция (фиг. 52), применяемая также и для дирижаблей, состоит из газгольдерной шайбы, наклеенной на оболочку близ угла разрывного. К этой шайбе петля разрывной вожжи



Фиг. 52. Закрепление разрывной вожжи на шпагате.

привязывается шпагатом. Практически всегда легко подобрать шпагат, разрывающийся от нагрузки в 15—20 кг

Разрывная вожжа для отличия от всякого другого такелажа делается всегда из двойной плоской пеньковой тесьмы, окрашенной в красный цвет. Прочность такой тесьмы должна быть не ниже 240 кг.

По американским требованиям для прохода разрывной вожжи сквозь оболочку должен делаться специальный апендикс для предохранения вожжи от запутывания в апендиксе при спуске. В нашей практике разрывная вожжа обычно просто пропускается сквозь основной апендикс и ее конец закрепляется на подвесном обруче.

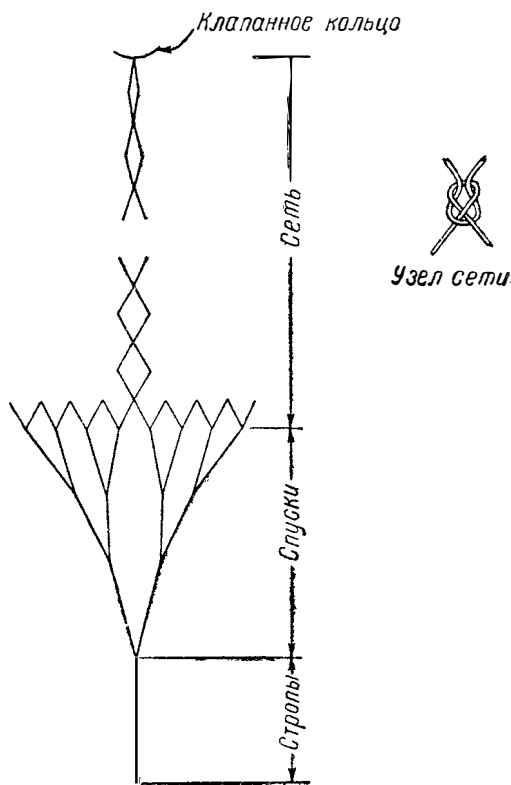
§ 6. РАСЧЕТ СЕТИ СФЕРИЧЕСКОГО АЭРОСТАТА

Для передачи веса корзины оболочке служит сеть (фиг. 53), состоящая из следующих частей: клапанное кольцо, собственно сеть, система спусков и стропы, оканчивающиеся петлями, служащими для присоединения к подвесному обручу.

Клапанное кольцо замыкает сверху всю систему и, охватывая основание клапана, препятствует передвижению сети по аэростату. Оно изготовляется или из достаточно прочной веревки или из стальной проволоки, оплетенной тонким шпагатом. К кольцу прикрепляются верхние ячейки самой сети. Сеть охватывает оболочку от клапанного кольца до 30—40° ниже экватора оболочки.

По способу образования ячеек различают два типа сетей: первый с «подобными клетками» и второй с «равными клетками», т. е. с постоянной длиной сторон клеток. В сети с «подобными клетками» отношение вертикальной и горизонтальной диагоналей клеток равно 2 : 1 и остается постоянным для всех клеток, причем длины их сторон уменьшаются от экватора кверху и книзу сети. Такая сеть имеет меньший вес, но требует определения длин сторон клеток для каждого их ряда.

В сетях с «равными клетками» отношение диагоналей клеток экваториального ряда равно 2 : 1. В других рядах при постоянной ве-



Фиг. 53. Схема элементов сети сферического аэростата.

личине сторон ячеек это отношение увеличивается. Преимущество этого типа сети — более простое плетение.

Вязка сети производится так же, как вязка рыболовных сетей, гамаков и пр. Для соединения веревок различного диаметра, применяемых для получения равных запасов прочности в различно нагруженных элементах сети, применяется сплетка этих веревок с последующей ошпаговкой тонким шпагатом.

В качестве материала для изготовления сетей применяются веревки, изготовленные из шелка, льна, пеньки или хлопчатой бумаги. Шелковые сети наиболее легки, но менее выносливы в эксплуатации. Под влиянием атмосферных воздействий шелк становится ломким. Стоимость шелковых сетей значительно выше, чем изготовленных из какого-либо другого материала, поэтому шелковые сети следует применять только в специальных случаях.

Пенька дает весьма грубые веревки, плохо и с значительным понижением прочности затягивающиеся в узлы. Хлопчатобумажные сети получаются довольно тяжелыми, плохо переносят волочение по земле при тренаже и плохо вяжутся в узлах.

Наиболее распространенным материалом для сетей являются льняные веревки, обладающие достаточной удельной крепостью при меньшей, чем шелковые, стоимости. Узлы из льняных веревок получаются хорошие, плотные и с малой потерей прочности. Для сетей также хороши веревки из мерсеризованной пеньки или льна.

Расчет сети на прочность начинается с расчета строп по вполне понятной формуле:

$$S = \frac{k \cdot P}{n \cdot \cos \alpha}, \quad (68)$$

где S — разрушающее усилие стропы в кг;

P — максимальный вес полностью загруженной корзины в кг;

n — число строп;

α — угол между направлением стропы и вертикалью;

k — запас прочности не меньший 8.

Прочности спусков и ячеек сети рассчитывается по формуле:

$$S_i = k \frac{P}{2n \cdot \cos \alpha \cdot \cos \frac{\beta}{2}}, \quad (69)$$

где S_i — разрушающее усилие данной веревки в кг;

n — число спусков или клеток в данном ряду;

β — угол между сторонами спусков или клеток;

α — угол наклона осей клеток или спусков данного ряда к вертикали.

Формула (69) получается из условий равновесия сети, разрезанной по данному ряду спусков или клеток. Трение сети об оболочку во внимание не принимается.

Для определения натяжения клапанного кольца рассмотрим фиг. 54. Под влиянием натяжений сторон клеток сети, клапанное кольцо

примет форму правильного многоугольника. Равнодействующая R натяжений P сторон клетки равна:

$$R = 2P \cdot \cos \alpha.$$

Натяжение кольца T для равновесия рассматриваемого узла должно иметь значение:

$$T = \frac{R}{2 \sin \beta} = P \frac{\cos \alpha}{\sin \beta};$$

но из чертежа видно, что:

$$\beta = \frac{2\pi}{2n} = \frac{\pi}{n},$$

где n — число ячеек сети у кольца.

Так как n обычно достаточно велико, то мы можем считать:

$$\sin \beta = \beta = \frac{\pi}{n}.$$

Подставляя это значение синуса в выражение T , получим окончательно:

$$T = P \frac{n \cdot \cos \alpha}{\pi}. \quad (70)$$

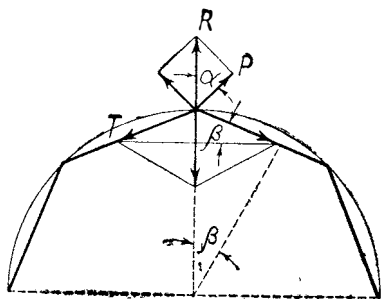
Нижнюю часть сети обычно усиливают на 25% сверх расчета на износ от крючков балластных мешков, навешиваемых на сеть при наполнении аэростата.

Для больших аэростатов число ячеек выбирается так, чтобы сторона ячейки не превышала 600—900 мм.

Подвеска с помощью сети разгружает материю самой оболочки, в особенности при тренаже, и облегчает операцию газонаполнения, но делает ее более кропотливой. Поэтому в настоящее время предпочитают делать подвеску корзины с помощью лап или поясов той или другой системы, что дает выигрыш в весе и стоимости аэростата. Вместе с тем сама операция газонаполнения значительно упрощается, но требует большей квалификации руководящего и обслуживающего персонала.

§ 7. РАСЧЕТ И КОНСТРУКЦИЯ ПОЯСНОЙ ПОДВЕСКИ

Для небольших оболочек, объемом до 600 м³, можно применять систему подвески, крепящуюся к оболочке с помощью лап того или другого типа. Преимуществами этой системы являются ее малый вес и сравнительная простота изготовления аэростата. Недостатками являются сосредоточенная передача усилий от подвески на оболочку и перегрузка материи оболочки при тренаже. В зависимости от величины аэростата подвеску корзины осуществляют или с помощью только строп, крепящихся непосредственно к лапам, или с помощью спусков, при наличии которых нагрузка стропы передается двум или четырем лапам. Большое число лап обеспечивает более равномерное распределе-



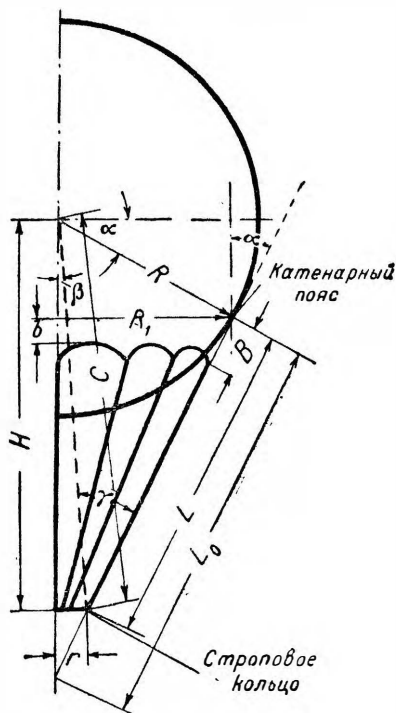
Фиг. 54. Схема сил, действующих на клапанное кольцо.

ние напряжения по оболочке, но вместе с тем вызывает утяжеление и усложнение всей системы. Определение натяжений в стропях производится по формуле (68), причем запас прочности в стропе берется равным 8, а в лапе не ниже 6.

Внешний периметр лапы должен выбираться так, чтобы натяжение материи от усилия, переданного стропой, не превышало 0,5 от натяжения материи, вызываемого сверхдавлением газа. Конструктивно наиболее удобным типом лап являются четырехпалые веревочные лапы стандартного американского типа или четырехпалая лапа с тесьмой. Под-



Фиг. 55. Пояс с петлями («гусиными лапками»).



Фиг. 56. Схема катенарной подвески.

робное описание конструкции и методов расчета таких лап дано ниже, в разделе, касающемся подвески мягких дирижаблей.

Для аэростатов кубатурой выше 600 м^3 подвеска на лапах становится неудобной, так как большие нагрузки на стропы требуют увеличения числа и размеров лап. В этом случае наилучшей системой подвески, обеспечивающей равномерное натяжение оболочки, является подвеска с помощью пояса. Наиболее простой пояс состоит из наклеенной и пришитой к оболочке ленты шириной в 300—350 мм из хлопчатобумажной материи повышенной прочности, типа автоканваса или автопнева. Линия пришива этой ленты является геометрическим местом точек касания к оболочке прямых, проведенных от подвешного обруча в меридианальных плоскостях аэростата. На поясе через определенные интервалы нашиваются матерчатые петли (фиг. 55), к кото-

рым крепятся гусиные лапки спусков, переходящих затем в стропы. Число строп колеблется от 12 до 24. Спуски обычно бывают двойные или тройные. Чем больше на поясе отдельных петель, тем равномернее распределяется нагрузка по нему и по оболочке, но вместе с тем вся система становится сложнее и тяжелее.

Расчет поясной подвески начинается с определения натяжения строп по формуле (68). Усилия в спусках находят по формуле (69). Прочность петли и ширина самого пояса подбираются экспериментальным путем.

Значительно лучше и более легка, но производственно более сложна система подвески с помощью катанарного пояса (фиг. 56). В этом случае натяжение стропы передается непосредственно на трос, вшитый в материю пояса по параболам. Этот трос передает натяжение материалу пояса равномерно по всему своему пролету. Натяжение пояса, охватывающего оболочку по всей окружности, передается на оболочку также равномерно. Число строп при такой системе выбирают от 12 до 24, а в некоторых случаях, например в стратостатах, и значительно большим. При этом в последнем случае стропы иногда крепятся не непосредственно к узлам катанарий, а при помощи системы спусков.

Расчет катанарного пояса состоит из определения его геометрических размеров и расчета на прочность самого пояса, его деталей и такелажа.

Линия крепления пояса к оболочке должна являться местом касания к оболочке конической поверхности, проходящей через стропы. Зная радиус оболочки аэростата R , радиус подвесного обруча r и расстояние последнего от центра оболочки H или угол, образуемый стропами с вертикалью α , можно определить все остальные геометрические размеры подвески и пояса. Строповое кольцо обычно располагается ниже центра оболочки на расстоянии $H = 2R$. При этом из фиг. 56 следует:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{r}{2R}; \quad (71)$$

$$c = \sqrt{4R^2 + r^2}; \quad (72)$$

$$L = \sqrt{4R^2 + r^2} - R^2 = \sqrt{3R^2 + r^2}; \quad (73)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{R}{L} = \frac{R}{\sqrt{3R^2 + r^2}}; \quad (74)$$

$$\alpha = \gamma - \beta. \quad (75)$$

Найдя α , легко вычислить и все остальные величины, определяющие размеры пояса:

$$R_1 = R \cdot \cos \alpha. \quad (76)$$

Длина окружности касания пояса:

$$S_1 = 2\pi R_1 = 2\pi R \cdot \cos \alpha. \quad (77)$$

Образующие конуса:

$$L_0 = \frac{R_1}{\sin \alpha} = R \cdot \operatorname{ctg} \alpha. \quad (78)$$

Угол развертки конуса:

$$\varphi = \frac{S_1}{L_0} = 2\pi \cdot \sin \alpha. \quad (79)$$

Длина дуги от экватора до линии пришива пояса по меридиану оболочки:

$$S = R\alpha. \quad (80)$$

Длина теоретической стропы:

$$L = \frac{1}{\sin \alpha} (R \cdot \cos \alpha - r). \quad (81)$$

Определение тех же величин, когда задано не расстояние до стропового кольца, а угол $\alpha = 30^\circ$, производится следующим образом. Расстояние от стропового кольца до центра оболочки:

$$H = \frac{1}{\sin \alpha} (R - r \cdot \cos \alpha) = 2 (R - 0,866r). \quad (82)$$

Радиус окружности касания:

$$R_1 = R \cdot \cos \alpha = 0,866R. \quad (83)$$

Длина дуги касания пояса:

$$S_1 = 2\pi R \cdot \cos \alpha = 5,44R. \quad (84)$$

Образующая конуса:

$$L_0 = R \cdot \operatorname{ctg} \alpha = 1,732R. \quad (85)$$

Угол развертки конуса:

$$\varphi = \frac{S_1}{L_0} = 2\pi \cdot \sin \alpha = \pi = 180^\circ. \quad (86)$$

Длина дуги от экватора до линии касания пояса:

$$S = R \cdot \alpha = 0,5236R. \quad (87)$$

Длина теоретической стропы:

$$L = \frac{1}{\sin \alpha} (R \cdot \cos \alpha - r) = 2 (0,866R - r). \quad (88)$$

Определив таким образом все геометрические размеры подвески, приступаем к определению конструктивных размеров и расчету самих парабол. Расстояние b от линии пришива пояса к оболочке до вершины параболы (фиг. 57) выбирается обычно из конструктивных соображений. Для сферо-аэростатов объемом от 300 до 1400 м³ это расстояние может колебаться от 200 до 450 мм.

Стрелка параболы h может приниматься равной от $\frac{1}{3}$ до $\frac{2}{3}$ хорды A , но в обычных конструкциях принимают $h = \frac{1}{2} A$.

Рассмотрев фиг. 57, можно написать:

$$B = b + h$$

или:

$$B = b + \frac{1}{2} A.$$

Вводя сюда значения L_0 и h и определяя B , получим:

$$B = \frac{b + L_0 \sin \psi}{1 + \sin \psi} = \frac{b + R \operatorname{ctg} \alpha \sin \psi}{1 + \sin \psi}, \quad (89)$$

где:

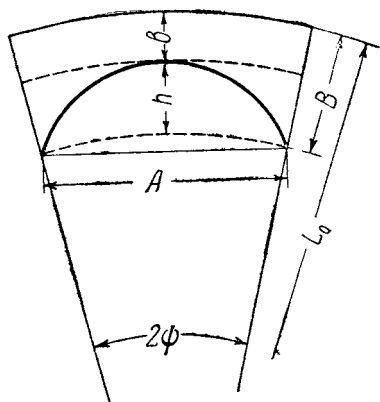
$$\psi = \frac{\varphi}{2n} = \frac{\pi \sin \alpha}{n}$$

и n — число парабол.

Для случая $\alpha = 30^\circ$ имеем:

$$B = \frac{b + 1,732R \cdot \sin \frac{\pi}{2n}}{1 + \sin \frac{\pi}{2n}}. \quad (90)$$

Для расчета параболы необходимо определить погонную нагрузку на пояс q кг/м. К поясу приложена сила F_c , равная весу всех элементов конструкции и грузов, подвешенных к поясу. Нагрузка F_c равномерно распределяется по всей окружности касания пояса к оболочке. Следовательно:



Фиг. 57. Развертка катенарии.

$$q = \frac{F_c}{S_1} = \frac{F_c}{2\pi \cdot R \cdot \cos \alpha} \quad (91)$$

или для $\alpha = 30^\circ$:

$$q = \frac{F_c}{5,44R}. \quad (92)$$

Дальнейшее определение формы параболы и натяжения вшитого в нее троса удобнее всего производить графически. Для этого нагрузку, приходящуюся на одну параболу, разбиваем на равные участки (по 200—300 мм) и заменяем распределенную нагрузку сосредоточенными силами. По этим силам строим веревочный многоугольник. Изменяя полученные ординаты веревочного многоугольника пропорционально отношению стрелки h к максимальной ординате веревочного многоугольника, получаем ординаты нашей параболы. Проводя в силовом многоугольнике новые направления лучей, определяем натяжение нашего троса.

Запас прочности материи пояса должен быть по крайней мере в 1,5 раза больше запаса прочности материи оболочки. Для стального троса катенарий запас прочности принимается не ниже 6, для катенарий из веревки — не ниже 12, причем до изготовления катенарии

веревка должна быть вытянута в сыром виде под нагрузкой, равной $1/12$ от разрушающей.

Конструктивно заделка катенарии и ее пришив выполняются аналогично конструкции параболических лап или катенарий подвески дирижаблей, которые будут рассмотрены ниже. Необходимо главным образом обеспечить постепенный переход от сравнительно жесткого пришива пояса к более деформирующейся материи самой оболочки, чтобы не получить резкого различия деформаций этих элементов.

Определив погонную нагрузку на пояс q и угол ψ , нужно произвести проверку прочности оболочки. Для этого рассечем оболочку

(фиг. 58) непосредственно выше линии пришива пояса и рассмотрим равновесие верхней отсеченной части. Обозначим:

P_1 — вес верхней части оболочки;

P_2 — вес нижней части оболочки со всем, что на ней укреплено;

σ_1 — напряжение в материи оболочки выше линии пришива пояса;

U_1 — объем верхней (выше пришива пояса) части оболочки;

U_2 — объем нижней части оболочки;

σ_2 — напряжение в материи оболочки ниже линии пришива пояса;

l — длина апендикса;

h — стрелка верхнего сферического сегмента;

α — угол наклона строп к вертикали;

r — радиус круга по линии касания пояса;

R — радиус оболочки аэростата;

q — вес квадратного метра материи оболочки;

ϕ — удельная подъемная сила газа;

U — объем аэростата (полный);

p_1 — сверхдавление газа на уровне касания пояса.

Фиг. 58. Схема напряжений в оболочке сфероаэростата.

При приведенных обозначениях имеем:

$$h = R + R \cdot \sin \alpha = R(1 + \sin \alpha);$$

$$r = R \cdot \cos \alpha;$$

$$p_1 = (R - R \cdot \sin \alpha + l) \phi = [R(1 - \sin \alpha) + l] \phi;$$

$$P_1 = 2\pi R h q = 2\pi R R (1 + \sin \alpha) q = 2\pi R^2 (1 + \sin \alpha) q;$$

$$U_1 = \frac{1}{3} \pi h^2 (3R - h) = \frac{1}{3} \pi R^2 (1 + \sin \alpha)^2 [3R - R(1 + \sin \alpha)] = \\ = \frac{\pi}{3} R^3 (1 + \sin \alpha)^2 (2 - \sin \alpha).$$

Уравнение равновесия верхней части будет иметь вид:

$$U_1 \phi + \pi r^2 p_1 - P_1 - 2\pi r \sigma_1 \cos \alpha = 0, \quad (93)$$

откуда:

$$\sigma_1 = \frac{U_1 \phi + \pi r^2 p_1 - P_1}{2\pi r \cdot \cos \alpha} \quad (94)$$

Подставляя сюда приведенные выше значения U_1 , r , P_1 ..., будем иметь:

$$\sigma_1 = \frac{\frac{\pi}{3} R^3 (1 + \sin \alpha)^2 (2 - \sin \alpha) \phi + \pi R^3 \cos^2 \alpha [R(1 - \sin \alpha) + l] \phi - 2\pi R^3 (1 + \sin \alpha) q}{2\pi R \cdot \cos^2 \alpha} \quad (95)$$

Принимая l равным $0,3R$, получим:

$$\sigma_1 = \frac{\phi R^3 \left[\frac{1}{3} (1 + \sin \alpha)^2 (2 - \sin \alpha) + \cos^2 \alpha (1,3 - \sin \alpha) \right]}{2 \cos^2 \alpha} - \frac{R(1 + \sin \alpha) q}{\cos^2 \alpha} \quad (96)$$

Заменив здесь $\cos^2 \alpha$ через $(1 - \sin^2 \alpha)$ и выполнив соответственные действия, найдем:

$$\sigma_1 = \frac{\phi R^2}{1 - \sin^2 \alpha} (0,98 - 0,65 \sin^2 \alpha + 0,33 \sin^3 \alpha) - \frac{R \cdot q}{1 - \sin \alpha} \quad (97)$$

Принимая $\alpha = 30^\circ$, получим:

$$\sigma_1 = 1,14 \phi R^2 - 2Rq \quad (98)$$

При $R = 6\text{ м}$, $\phi = 1 \text{ кг/м}^3$ и $q = 0,4 \text{ кг/м}^2$ будем иметь:

$$\sigma_1 = 41 \text{ кг/м}.$$

По формуле Ренара при $l = 0,3R = 1,8 \text{ м}$ мы получили бы:

$$\sigma_1 = 41,4 \text{ кг/м}.$$

§ 8. РАСЧЕТ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ АЭРОСТАТА

Для удержания оболочки сферического аэростата при газонаполнении и старте служат поясные веревки, укрепленные на верхней части сети или самой оболочки (для оболочек без сети). Число поясных веревок выбирается из условий удобства обращения с аэростатом на земле. На основании эксплуатационной практики можно считать достаточным для аэростатов объемом от 300 до 900 м^3 8—12 поясных, для аэростатов объемом от 900 до 2200 м^3 от 12 до 24 поясных. Для аэростатов с сетью можно брать меньшее число поясных, так как при газонаполнении мешки с балластом можно подвешивать непосредственно на ячейки сети.

Линия крепления поясных на оболочке располагается обычно на 45° выше экватора, так как основное назначение поясных заключается в предохранении аэростата от раскачивания ветром. Расчет на прочность поясных следует производить для случая, когда оболочка под-

нята (но корзина еще не прикреплена) и дует ветер максимально допустимой при старте силы.

Аэродинамическое сопротивление аэростата выражается обычной формулой:

$$X = C_u \rho U^2.$$

Коэффициент сопротивления $C_u = 0,314$, плотность воздуха на земле:

$$\rho = 0,125;$$

$$U^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{4}{3} \pi R^3 \right)^{\frac{2}{3}} = 2,59 R^2.$$

Максимально допустимая сила ветра при старте может быть принята равной 7 м/сек. Тогда:

$$X = 0,314 \cdot 0,125 \cdot 49 \cdot 2,59 R^2 = 4,98 R^2. \quad (99)$$

Приняв допущение, что только $1/3$ поясных участвует в работе, получим нагрузку от аэродинамических сил на одну поясную:

$$T_1 = X \cdot \cos \beta \cdot \frac{3}{n} = \frac{3 \cdot 4,98 R^2}{n} \cdot \cos \beta = \frac{14,95}{n} \cdot R^2 \cos \beta, \quad (100)$$

где n — число поясных;

β — угол наклона поясных к горизонту, принимаемый обычно равным 45° .

При этом значении β :

$$T_1 = \frac{14,95}{n} R^2 \cdot \cos 45^\circ = \frac{10,6}{n} \cdot R^2. \quad (101)$$

Обозначив подъемную силу аэростата за вычетом веса оболочки с укрепленными на ней деталями через F_1 , получаем натяжение поясной от статических сил:

$$T_2 = F_1 \cdot \sin \beta \cdot \frac{3}{n}. \quad (102)$$

Для $\beta = 45^\circ$ имеем:

$$T_2 = 3 \sin 45^\circ \frac{F_1}{n} = 2,12 \frac{F_1}{n}. \quad (103)$$

Складывая эти два натяжения, получаем расчетное натяжение поясной для общего случая и для $\beta = 45^\circ$:

$$T = \frac{14,95}{n} R^2 \cdot \cos \beta + \frac{3}{n} F_1 \sin \beta; \quad (104)$$

$$T = \frac{10,6}{n} R^2 + 2,12 \frac{F_1}{n} = \frac{2,12}{n} (5R^2 + F_1). \quad (105)$$

Приведенный расчет включает в себя ряд допущений, но получающиеся при этом размеры поясных и их креплений удовлетворяют требованиям эксплуатации. Запас прочности поясных должен быть

не ниже запаса прочности самой оболочки. Для натяжений по формулам (104) и (105), полученных при наиболее тяжелом расчетном случае, запас прочности можно принять равным 3.

Крепление поясных к сети осуществляется с помощью системы спусков. Число рядов спусков бывает от двух до четырех и определяется прочностью ячеек сети, к которым прикрепляются верхние спуски. В вершину нижних спусков заделывают деревянное или медное кольцо, сквозь которое продевается поясная веревка, обычно выдергиваемая при пуске аэростата.

На аэростатах, не имеющих сети, поясные прикрепляются к оболочке с помощью лап той или другой конструкции или непрерывного пояса. Расчет и конструкция лап указаны ниже. Сами поясные веревки должны иметь на одном конце заделанный костылек для закрепления поясной в петле лапы или пояса.

К такелажу аэростата относится еще гайдроп, назначение которого было указано выше. Длина гайдропа и его вес очевидно зависят от объема аэростата. Однако установить эту зависимость весьма трудно, поэтому для определения длины и веса гайдропа пользуются нормами Американского кодекса безопасности и следующими эмпирическими формулами, проверенными на практике:

Для спортивных аэростатов:

$$l = \frac{0,02U\phi}{q}. \quad (106)$$

Для учебных аэростатов:

$$l = \frac{0,025U\phi}{q}, \quad (107)$$

где U — объем аэростата в м^3 ;

ϕ — удельная подъемная сила газа в $\text{кг}/\text{м}^3$;

q — вес 1 м гайдропа в кг.

Можно также применять следующие соотношения:

$$q = k_1 U \phi, \quad (108)$$

где k_1 = от 0,018 до 0,028;

$$l = k_2 R, \quad (109)$$

где k_2 = от 10 до 15.

Во всяком случае гайдроп должен иметь длину не менее $8R$.

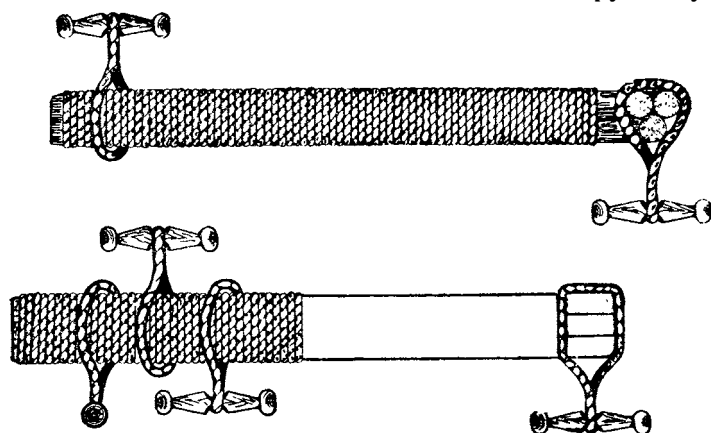
Гайдроп делается обычно диаметром не менее 22 мм из манильской или обыкновенной пеньки. В верхний конец гайдропа заделывается деревянный костылек для закрепления гайдропа на подвесном обруче, а нижний конец на длине 1,5—2 м плотно обматывается железной проволокой для предохранения гайдропа от растрепывания при ходе «на гайдропе» и во избежание захлестывания конца за встречные деревья и т. п.

Для соединения подвесного такелажа со стропами корзины служит подвесной обруч (строповое кольцо) (фиг. 59), представляющий собой круглое кольцо диаметром от 0,8 до 1,5 м, на котором укреплены короткие концы веревок с заделанными в них костыльками

для крепления петель строп сети. Кроме того, должны иметься костыльки или короткие веревочные петли для крепления строп корзины и отдельная петля из более прочной веревки для крепления костылька гайдропа.

Расчет на прочность стропового кольца, находящегося под действием натяжений строп подвески и корзины, а также воспринимающего переменные усилия от гайдропа при его задевании за наземные предметы, требует применения ряда допущений при определении этих усилий. Поэтому лучше пользоваться практически установившимися размерами.

Строповое кольцо можно изготавливать из дерева, стальных труб или нескольких рядов толстых веревок. Чтобы избежать перемещения петель с костылками и распадаения кольца при его изломе, деревянные и металлические кольца обматываются по наружному обводу



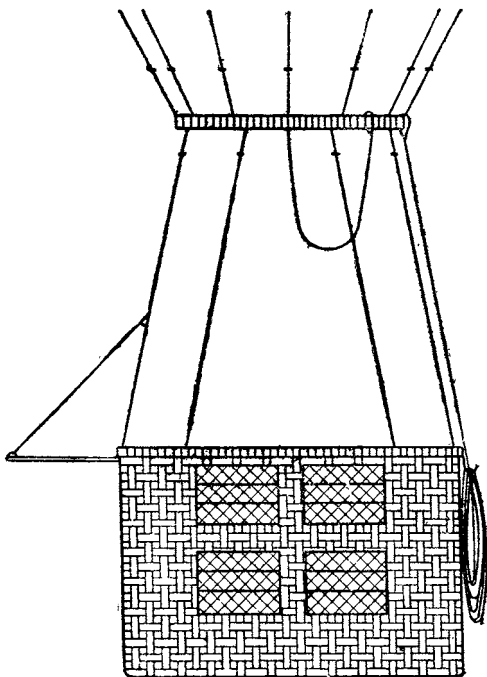
Фиг. 59. Подвесные обручи.

веревками, приматываемыми к кольцу двухмиллиметровым шпагатом. Для аэростатов до 1500 м³ можно применять строповое кольцо, изготовленное из трех веревочных колец, сложенных вместе, прошитых сквозь пряди и обмотанных шпагатом. Такие кольца удобны тем, что при тренаже аэростата они не могут причинить поранений экипажу. Деревянные кольца должны делаться обязательно клееными не менее чем из трех слоев твердого дерева — ясеня, дуба и т. д.

Для предохранения экипажа аэростата от дождя, стекающего по оболочке, на нее наклеивается так называемый дождевой пояс. Он представляет полосу из однослойной материи, вырезанную небольшими фестонами. Дождевой пояс наклеивается на оболочку приблизительно на 60° ниже экватора. Высота фестонов принимается равной 50 мм с основанием в 35—40 мм. Полная высота пояса до линии приклейки 150—200 мм, на пересклейку добавляется 15—20 мм.

Для помещения экипажа и пассажиров почти всегда, за исключением специальных случаев, применяются плетеные корзины. Такие корзины достаточно мягки и при ударах о землю или тренаже аэростата дают, не разрушаясь, значительные деформации.

Корзины (фиг. 60) обычно имеют форму параллелепипеда с основанием в виде квадрата. Материалом для плетения корзин служат камыш, тонкий тростник или ивняк. Тростниковые корзины имеют большую прочность и служат долго, но они более тяжелы, чем ивняковые. Поэтому для спортивных аэростатов применяются корзины из ивняка или из ивняка с тростником. Верхний борт корзины имеет усиленное плетение. Для подвески корзины сквозь плетение пропускают четыре стальных, обычно 6—8-миллиметровых, троса, проходящих под дном и выходящих с противоположной стороны. Выпущенные концы тросов заканчиваются петлями для крепления строп корзины. Для предотвращения протирания и проломов дна корзины, к дну вдоль бортов прикрепляются четыре бруска из твердого дерева. С наружной стороны к бокам корзины приделываются веревочные петли, служащие для переноски корзины на земле. Изнутри корзина обычно обшивается прочной материей, в которой делаются карманы для карт и мелких предметов. Внутри корзины, на расстоянии 300—400 мм от пола, иногда протягивается кругом ее веревка, служащая в качестве поручня для пассажиров при тренаже. К строповому кольцу корзина обычно прикрепляется восемью стропами длиной от 1 до 2,5 м.



Фиг. 60. Корзина сфероаэростата

Для нормальных тренировочных полетов площадь пола корзины определяется из расчета по $0,3 \text{ м}^2$ на одного человека. Для длительных рекордных полетов пол корзины иногда делается прямоугольным, чтобы дать возможность пассажирам отдыхать лежа. Минимальная площадь пола корзины на одного человека, выбираемая из условий безопасности при тренаже, равна $750 \times 900 \text{ мм}$. Высота корзины принимается обычно от 800 до 1100 мм. В некоторых случаях корзины снабжаются плетеными или пневматическими амортизаторами.

Типовые корзины имеют следующие размеры.

Малая корзина аэростата (привязного) Како: ширина 0,75 м, длина 1,05 м, высота 1,05 м; вес — 26 кг.

Большая корзина аэростата (привязного) Како: ширина — 1,05 м, длина 1,05 м, высота 1,05 м; вес — 32 кг.

Стандартная корзина сферо-аэростата на 5 чел.: ширина 1,25 м, длина 1,35 м, высота 1,10 м; вес — 58 кг.

§ 9. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Ниже приводим весовые данные отдельных деталей сферо-аэростатов нормального типа.

Сферо-аэростат объемом 1437 м³
(в кг)

1. Оболочка с апендиксом	238
2. Сеть полностью	40
3. Строповое кольцо	15
4. Клапан с уздечкой	8
5. Корзина	58
6. Гайдроп	40
7. Спасательные нагрудники (2 шт.)	4
8. Флаг	1
9. Совок	0,4
10. Сигнал бедствия	2
11. Сигнальный рожок	0,4
12. Топор	2
13. Ножи (2 шт.)	0,8
14. Барограф	2
15. Психрометр Ассмана	0,8
16. Анероид (высотомер)	0,3
17. Компас	0,1
18. Статоскоп Ришара	2,0
19. Карты	0,1
Полный мертвый вес	413,9
Полная подъемная сила (водород с $\phi = 1,0 \text{ кг/м}^3$)	1437
Полезная подъемная сила	1023, т. е. 2 чел. и 863 кг балласта
Полная подъемная сила (светильный газ с $\phi = 0,7 \text{ кг/м}^3$)	1005,4
Полезная подъемная сила	592, т. е. 2 чел. и 432 кг балласта

Весовые характеристики других трех военно-тренировочных американских дирижаблей приведены в табл. V.

Таблица V

Наименование	Размерность	1	2	3	Примечание
Объем аэростата номинальный	м ³	538	991	2265	¹ С апендиксом и разрывным
Оболочка	кг	145	214	335 ¹	
Разрывное с разрывной вожжей	кг	1,3	1,36	—	
Апендикс с уздечкой	кг	2,35	4,52	—	
Сеть с полвеской	кг	31,5	48,0	84	
Строповое кольцо с костыльками	кг	5,0	7,2	10,0	
Клапан	кг	} 5,0	6,3	} 9,5	
Клапанная веревка	кг		1,3		
Гайдроп, вес	кг	12,5	16,3	47,0	
Гайдроп, длина	м	53	61	—	
Корзина	кг	{ 50,4	47,7	{ 58	
Оборудование корзины	кг		8,8		

Наименование	Размерность	1	2	3	Примечание
Приборы	кг	} 10,4	14,7	7,3 19,5	Для морских полетов
Разное оборудование	кг				
Амортизатор и спасательные приспособления	кг	—	—	6,8	
Мертвый вес полный	кг	265	376	576,8	Водород, Н = 0 м
Полная подъемная сила при $\phi = 1,0 \text{ кг/м}^3$	кг	538	991	2265	
Полезная подъемная сила при $\phi = 1,0 \text{ кг/м}^3$	кг	273	615	1688	Водород, Н = 0 м
При $\phi = 1,0 \text{ кг/м}^3$ { экипаж	—	2	5	6	1 чел. = 80 кг
балласт	кг	113	275	1208	
Полная подъемная сила при $\phi = 0,7 \text{ кг/м}^3$	кг	376,6	693	1585,5	Светильный газ, Н = 0 м
Полезная подъемная сила при $\phi = 0,7 \text{ кг/м}^3$	кг	111,6	317,7	1009	Светильный газ, Н = 0 м
При $\phi = 0,7 \text{ кг/м}^3$ { экипаж	—	1	3	6	1 чел. = 80 кг
балласт	кг	31,6	77,7	524	

§ 10. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время различают два типа сферических аэростатов: 1) сфераозаэрозтаты, выполненные при старте полностью (или почти полностью), к которым относятся нормальные спортивно-тренировочные аэростаты, и

2) сфераозаэрозтаты, выполненные при старте на сравнительно небольшую часть своего объема ($1/6$, $1/8$) и выполняющиеся полностью лишь на своем статическом потолке; к этому типу относятся стратостаты, специально предназначенные для высотных полетов.

Все, что было изложено в настоящем разделе, относится в основном к аэростатам первого типа, и приведенные расчеты не могут непосредственно применяться при проектировании оболочек стратостатов.

По ряду причин мы не имеем возможности в настоящей работе изложить методы проектирования оболочек стратостатов и вынуждены лишь кратко отметить некоторые особенности такого проектирования.

Если расчет оболочки стратостата на зоне выполнения может производиться методом, указанным выше, то определение напряжений в материи оболочки при старте и в промежутке между стартом и зоной выполнения требует специального изучения. Особенно сложен вопрос определения напряжений в оболочке при парашютировании частично выполненной оболочки. Можно считать, что применение метода гидростатических испытаний облегчит эту задачу.

Значительные изменения формы оболочки затрудняют проектирование подвески gondoly и вызывают необходимость в некоторых до-

полнительных приспособлениях. Также приходится уделять большое внимание вопросу проектирования поясных и их креплений. Эти крепления должны располагаться на оболочке с учетом ее частичного выполнения при старте и значительной (до 150 м) общей высоты всего сооружения над поверхностью земли.

Расчет апендикса и клапана должен производиться с учетом значительного уменьшения удельной подъемной силы газа на зоне выполнения и влияния разогрева газа солнечными лучами на большой высоте полета. Конструирование клапана усложняется его большими размерами и сложностью проводки управления.

Конструкция апендикса должна предусматривать значительные аэродинамические нагрузки на нижнюю часть оболочки при парашютирующем спуске и в некоторых системах обеспечивать подачу воздуха в оболочку.

Большая высота снаряженного аэростата требует специального изучения вопроса о системе апендиксов и шлангов для газонаполнения, так как наполнение через основной апендикс не всегда возможно и в некоторых случаях приводит к неприятным последствиям из-за большой скорости протекания газа при поднятой оболочке.

При детальном проектировании оболочки стратостата в зависимости от выбранной общей схемы могут встречаться и другие затруднения расчетного и конструктивного порядка.

Раздел IV

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИВЯЗНЫХ АЭРОСТАТОВ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРИВЯЗНЫМ АЭРОСТАТАМ

Общее устройство типичного привязного аэростата показано на фиг. 61.

Проектирование этих аэростатов распадается на две отдельные части:

а) аэродинамический расчет с выбором формы корпуса и рулевых поверхностей и с определением положения точки крепления привязного троса для получения устойчивости при стоянке на тросе при различных скоростях ветра;

б) проектирование оболочки, такелажа, рулевых поверхностей и прочих деталей по полученным из аэродинамического расчета форме и размерам.

В настоящей работе мы рассматриваем лишь вторую часть проектирования. Вопрос выбора формы и расчеты устойчивости достаточно сложны и требуют специального рассмотрения. Интересующиеся этими вопросами могут ознакомиться с ними по литературе, указанной ниже.

Привязные аэростаты в основном предназначены для подъема военных наблюдателей с целью корректирования артиллерийской стрельбы и производства наблюдений за противником, а также для образования воздушных заграждений. В мирной обстановке с привязных аэростатов производят иногда метеорологические наблюдения и фотосъемку.

К военным привязным аэростатам предъявляются следующие требования:

1) подъем одного или двух наблюдателей с установленным снаряжением и необходимым запасом балласта на заданную высоту;

2) устойчивое положение аэростата (отсутствие качания, поворачивания, клевков и т. д.) при стоянке и выборе троса как в безветрие, так и при ветре;

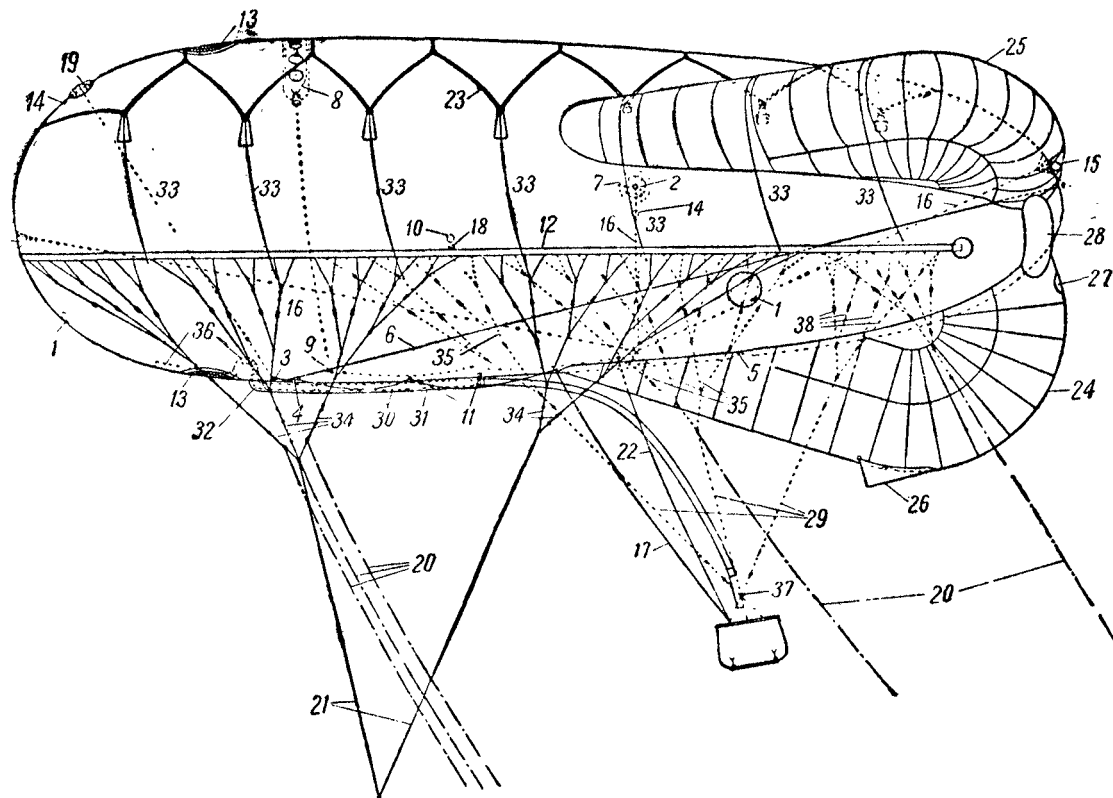
3) минимальное натяжение привязного троса при ветре;

4) сохранение правильной формы (отсутствие ложек) при максимальной скорости спуска;

5) минимальный объем аэростата;

6) простота и дешевизна изготовления и эксплуатации материальной части;

7) возможность бивачной стоянки аэростата.



Фиг. 61. Привязной аэростат Како типа М:

1 — аппендикс, 2 — ложный клапан, 3 — вывод клапанной веревки, 4 — аппендикс баллонета, 5 — отверстие в баллонете, 6 — пришив баллонета, 7 — газовый клапан, 8 — разрывное полотнище, 9 — вывод разрывной, 10 — приемник манометра, 11 — шайба крепления разрывной и клапанной веревки, 12 — подвесной пояс, 13 — опознавательный знак, 14 — крепление клапанной веревки, 15 — ложный клапан с рукавом, 16 — клапанная тяга (автоматического управления), 17 — веревка управления клапаном, 18 — трубка манометра, 19 — управляемый клапан, 20 — поясные, 21 — уздечка, 22 — разрывная вожжа, 23 — бивачный пояс, 24 — вертикальный стабилизатор, 25 — горизонтальный стабилизатор, 26 — улавливатель, 27 — аппендикс стабилизатора, 28 — шланг соединения, 29 — стропы подвески корзины, 30 — шланг газопровода, 31 — покрывка шланга, 32 — обратный клапан, 33 — бивачные веревки, 34 — такелаж привязного троса, 35 — такелаж корзины, 36 — шланг для газа, 37 — трапеция, 38 — спуски такелажа корзины.

Выясним основания, вызвавшие вышеперечисленные требования.

1. Больше двух наблюдателей для целей корректирования и наблюдения не требуется, так как наблюдателю не приходится вести почти никакой работы по «пилотажу» аэростата и все свое время он может уделять наблюдениям.

Снаряжение наблюдателей составляют карты, бинокли, фотоаппараты, полевой телефон для связи с землей, парашют и ручной пулемет с запасом патронов для защиты от воздушного противника. Общий вес снаряжения обычно не превышает 60 кг. Высота подъема аэростата зависит от целей наблюдения и метеорологических условий, но рабочий потолок аэростата должен выбираться из условий наилучшей видимости при заданной дальности. Необходимость вести детальные наблюдения ограничивает потолок аэростата обычно 2000—2500 м. Выше этого идти не следует, так как даже 3000—3500 м не могут предохранить аэростат от зенитного огня и истребителей противника, а наблюдения с этой высоты будут крайне затруднены. Кроме того, увеличение потолка неминуемо вызывает увеличение объема аэростата, что, как это будет показано ниже, значительно снижает его тактические свойства.

Привязные аэростаты различных типов имеют следующие потолки:

Тип М (французский), с пилотом, наблюдателем и полным снаряжением	457 м
Тип F (морской американский) с полной загрузкой	915 »
Тип R (французский) с двумя наблюдателями и полным снаряжением	1220 »
Тип AP (итальянский) с двумя наблюдателями	1250 »
Тип AP на испытаниях без нагрузки и корзины	3950 »

Эти сравнительно малые высоты объясняются тем, что число дней, при которых возможно вести наблюдение с больших высот, сравнительно невелико.

2. Устойчивость аэростата при стоянке и выборе троса является основным требованием, выполнение которого достигается лишь тщательным выбором формы и правильной балансировкой. Качка и раскачивание аэростата затрудняют, а при сильном ветре делают невозможным, наблюдение в особенности при необходимости применять бинокли большого увеличения с малым полем зрения.

Клевки же аэростата при выборе троса, помимо опасности для экипажа, вызывают перенапряжения троса и могут повлечь его обрыв или поломку механизма лебедки. Максимальная сила ветра, на которую надо рассчитывать работу привязных аэростатов, принимается обычно в 25—30 м/сек.

3. Натяжение привязного троса при стоянке аэростата при ветре можно снизить путем правильного с аэродинамической точки зрения выбора формы аэростата. Снижение натяжения троса дает возможность уменьшить его сечение и, следовательно, вес троса и тем самым увеличить потолок или уменьшить объем аэростата. Кроме того, уменьшение натяжения троса позволяет уменьшить мощность лебедочного мотора или увеличить скорость выбирания троса при той же мощности, чем улучшаются тактические свойства аэростата и увеличивается его живучесть лебедки.

4. Важным тактическим свойством привязного аэростата является максимальная скорость его выбирания. Скорость выбирания нужна для того, чтобы снизить аэростат при появлении воздушного противника и для большей гибкости маневрирования при смене позиции. Это требование вызывает ряд конструктивных затруднений, особенно при спуске аэростата в безветренную погоду на максимальной скорости снижения. При этом особенно опасна потеря сверхдавления, вызывающая образование ложек в носовой части аэростата и внезапное увеличение натяжения троса и клевки.

5. Эксплуатация привязных аэростатов производится обычно в полевых условиях, при которых снабжение аэростата газом затруднительно и производится или из баллонов с сжатым газом или с помощью полевых газодобывающих установок. Для защиты от ветра при стоянке аэростата на земле его помещают обычно или в овраге или в лесной просеке. Команда, обслуживающая аэростат, должна быть минимальной. Все это заставляет стремиться к возможно большему уменьшению объема аэростата для упрощения его эксплуатации и наземного маневрирования с ним.

6. Работа аэростата в боевых условиях вызывает быстрый износ его материальной части, кроме того убыль аэростатов, уничтожаемых земным и воздушным огнем противника, может быть весьма значительна. Отсюда понятно требование простоты и дешевизны материальной части как в изготовлении, так и в эксплуатации.

7. Необходимость седьмого требования понятна из условий работы аэростата.

Кроме того, привязной аэростат должен обеспечивать возможность совершать нормальные свободные полеты (в случае отрыва привязного троса) и безопасность экипажа как при привязных подъемах, так и при свободных полетах. С этой целью запасы прочности всех деталей конструкции должны быть выбраны с учетом понижения прочности материалов при эксплуатации в бивачных условиях. Так же должна быть предусмотрена возможность защиты аэростата от грозовых разрядов при стоянке аэростата на тросе.

§ 2. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ПРИВЯЗНОЙ АЭРОСТАТ

Чтобы понять условия работы аэростата, рассмотрим силы, действующие на него в некоторых случаях работы.

Простейшим из таких случаев является стоянка аэростата на привязном тросе при безветрии (фиг. 62). Для рассмотрения этого случая примем обозначения:

F_c — свободная подъемная сила аэростата (полная подъемная сила за вычетом всех мертвых весов и нагрузок);

p — вес единицы длины троса;

L — полная длина выпущенного троса;

T — натяжение троса в месте его крепления к аэростату и

T_1 — натяжение троса в его нижней точке.

На потолке аэростата свободная подъемная сила должна быть равна весу троса, а направления этой подъемной силы и натяжения

троса должны лежать на одной вертикали. Рассекая привязной трос у земли, мы получим условие равновесия аэростата в виде:

$$F_c - Lp = 0. \quad (110)$$

Весь трос, очевидно, вертикален и натяжение $T_1 = 0$.

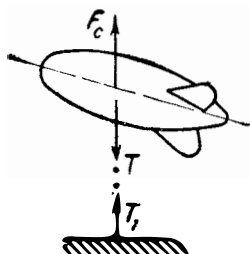
Рассекая трос на некотором расстоянии Li от аэростата, мы получим условие равновесия последнего в виде:

$$F_c - L_i p - T_i = 0. \quad (111)$$

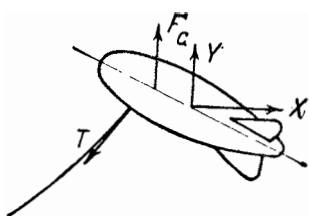
Отсюда можно найти натяжение троса T_i .

Если положение силы F_c будет изменяться при изменениях высоты подъема, то аэростат будет менять наклон своей оси так, чтобы на любой высоте подъема сила F_c была направлена по вертикали троса.

При стоянке на тросе при ветре (фиг. 63) аэродинамические силы,



Фиг. 62. Привязной аэростат при безветрии.



Фиг. 63. Силы, действующие на привязной аэростат.

действующие на корпус и все приделки аэростата, дают некоторую равнодействующую силу R . Разлагая эту равнодействующую на вертикальную и горизонтальную составляющие, получаем соответственно аэродинамическую подъемную силу Y и силу лобового сопротивления X . Следовательно, на аэростат действуют: аэростатическая подъемная сила F_c , аэродинамическая подъемная сила Y и горизонтальное аэродинамическое сопротивление X . Эти три силы уравниваются натяжением троса T . Очевидно, что для каждой высоты подъема, скорости ветра, а также величины и положения свободной подъемной силы равновесие аэростата, при постоянном положении точки крепления привязного троса, может быть достигнуто только при каком-то вполне определенном угле атаки. Поэтому конструкция крепления аэростата к привязному тросу должна допускать изменение наклона оси аэростата. В некоторых случаях кроме изменения наклона оси для уравнивания аэростата пользуются баллонами или выпускают кормовые парашюты. Последнее имело место в устаревшем типе привязного аэростата Парсеваль.

В рассматриваемом случае натяжение привязного троса в некоторой его точке i будет зависеть не только от указанных выше сил, но и от давления ветра на самый трос.

В задачу настоящей работы не входит рассмотрение вопросов равновесия и устойчивости привязного аэростата при ветре, поэтому интересующимся этим вопросом можно указать следующую литературу:

1. «Etude sur le Ballon Captif et les Aeronefs Marins». Commandant Charls Lufon.
2. «Applied Aerodinamiks» by L. Bairstow.
3. British Advisory Committee for Aeronautics, Reports and Memoranda №№ 208, 307 и 554.

§ 3. РАСКРОЙ И РАСЧЕТ ОБОЛОЧКИ

Выбрав на основе аэродинамического расчета и требований задания объем и кривую меридианального обвода оболочки и ее основные параметры, можно приступить к проектированию самой оболочки.

Первая часть проектирования оболочки заключается в определении действующих в ней напряжений и подборе материи. Оболочки привязных аэростатов имеют обычно форму, состоящую из двух эллипсоидов вращения, с общим удлинением порядка 3—3,5 и до 4. Точный расчет напряжений, возникающих в такой оболочке от сверхдавлений газа и внешних сил, особенно с учетом деформации поперечных сечений, крайне затруднителен и практически применимого метода такого расчета в настоящее время еще не имеется.

Для предварительного подбора материи по поперечным натяжениям, возникающим от сверхдавления газа, можно применить следующий приближенный метод. Приняв поперечные сечения аэростата за круговые, можно определить поперечные натяжения по формуле:

$$T_i = p_i \cdot r_i,$$

где T_i — натяжение в кг/м ;

p_i — сверхдавление в кг/м^2 ;

r_i — радиус данного поперечного сечения в м .

При горизонтальной оси аэростата наибольшее напряжение будет действовать в верхней точке миделевого сечения, где r_i и p_i имеют наибольшие значения. Приняв удельную подъемную силу $\phi = 1,0 \text{ кг/м}^3$, получаем:

$$T_m = (p_0 + 2r_m)r_m. \quad (112)$$

Остается выяснить, каким образом следует назначать сверхдавление в нижней точке миделя. Привязные аэростаты (фиг. 61) обычно имеют баллонет, питающийся наружным воздухом через улавливатель. Таким образом можно считать, что давление в баллонете, а следовательно и в нижней части оболочки равно скоростному напору встречного ветра. Задаваясь максимальной скоростью ветра, допустимой для данного типа аэростата, можно определить скоростной напор, т. е. сверхдавление p_0 . Зная это сверхдавление, мы по формуле 112 находим натяжение T_m . Умножая это натяжение на запас прочности k , получаем:

$$R = k \cdot T_m,$$

т. е. требуемое разрушающее напряжение материи в кг/м .

Запас прочности k берется не ниже 6—8.

При выводе формулы (112) мы учитывали напряжения материи оболочки только от сверхдавления газа и оставляли без внимания все прочие внешние силы. Это, конечно, далеко не точно, но практика работы привязных аэростатов показывает, что прочность материи, подобранная по формуле (112), оказывается достаточной для сопротивления действию всех неучтенных нами сил.

Привязные аэростаты не имеют самостоятельных средств поддержания сверхдавления, поэтому при спуске в безветренную погоду они могут терять правильность своей формы и складываться. Величина минимального сверхдавления, гарантирующего аэростат от указанных деформаций, имеет поэтому первостепенное значение. Она зависит от удачности выбора схемы подвески и от ее крепления к оболочке. Практически наилучшим способом определения нужного сверхдавления является испытание гидростатической модели аэростата с достаточно точной имитацией всех нагрузок и подвески.

Определив по формуле (112) необходимую прочность материи, можно выбрать и ее тип. Для привязных аэростатов нормального объема (800—1200 м³) может применяться двухслойная, диагонально-дублированная материя, изготовленная из средних перкалей. При прочности порядка 900—1100 кг/м и весе около 360 г/м² такая материя имеет газопроницаемость 10—15 л/м² в сутки по водороду. Окраска внешнего слоя материи зависит от требований заказчика. Обычно, в целях маскировки оболочка аэростата составляется из трапеций, окрашенных в зеленый, светлозеленый (хакки) и коричневый цвета, чередующиеся в определенном порядке. Для морских аэростатов, особенно предназначенных для южных широт, может применяться алюминированная материя, хорошо сопротивляющаяся действию солнечных лучей.

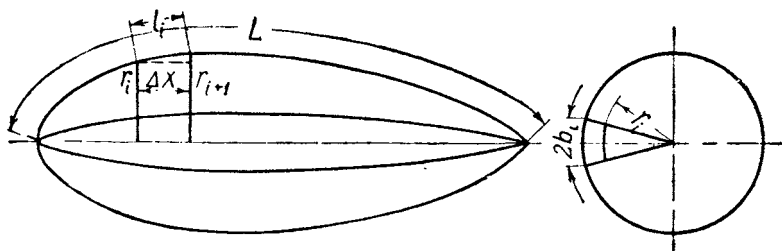
Выбрав тип материи, можно перейти к раскрою оболочки. Задача раскроя заключается в разбивке поверхности оболочки на ряд плоских элементов. Так как оболочка представляет собой поверхность, образованную вращением вокруг продольной оси аэростата некоторой кривой, то очевидно, что такая поверхность не может быть развернута на плоскость. Поэтому применяемые для раскроя методы основаны на некоторых допущениях, позволяющих более или менее точно решить указанную выше задачу.

В практике советского воздухоплавания наибольшим распространением пользуется трапецидальный метод раскроя. Допущение этого метода заключается в замене круговых сечений оболочки некоторыми многоугольниками, и, следовательно, в замене поверхности вращения некоторыми многогранниками. При этом длина средней линии каждой грани равна длине меридиана оболочки, а ширина грани равняется длине соответствующей части дуги данного поперечного сечения. Таким образом поверхность оболочки, имеющую двоякую кривизну, мы заменяем рядом полотнищ, имеющих кривизну лишь в меридиальном направлении и, следовательно, точно разворачивающихся на плоскость.

Каждое из полученных таким образом полотнищ разбивается затем на отдельные трапеции прямыми, перпендикулярными к оси

полотнища. Высота этих трапеций (по оси полотнища) равняется раскройной ширине выбранной материи. Поперечные швы располагаются таким образом, что поперечный шов трапеции одного полотнища приходится против середины трапеции соседнего полотнища. Получаемая таким путем форма оболочки вполне удовлетворительна для практических целей.

Для построения развертки полотнища нужно знать развертку дуги меридиана и длины соответственных дуг выбранных поперечных сечений. Длина дуги меридианального обвода оболочек сравнительно редко поддается аналитическому определению без чрезмерно громоздких вычислений. Поэтому для развертки дуги меридиана принимают допущение, состоящее в том, что мы заменяем в каждом отдельном интервале длину дуги меридиана длиной ее хорды. Ошибка, получающаяся при этом для оболочек, радиус кривизны меридианального обвода которых очень велик, заключается в сотых долях процента



Фиг. 64. Схема меридианального раскроя.

Зная радиусы r_i и r_{i+1} поперечных сечений оболочки (фиг. 64) в начале и конце данного интервала и длину интервала Δx , находим длину хорды l_i по формуле:

$$l_i = \sqrt{(r_{i+1} - r_i)^2 + (\Delta x)^2}. \quad (113)$$

При разбивке оболочки на n одинаковых полотнищ полуширина полотнища b_i в данном поперечном сечении легко определяется по формуле:

$$b_i = \frac{2\pi r_i}{2n} = \frac{\pi r_i}{n}. \quad (114)$$

Брать полуширину вместо целой ширины полотнища удобнее для последующих построений.

Число полотнищ n берется в пределах от 6 до 16, обычно принимают 12 полотнищ. Меньшее число может привести к искажению формы оболочки в носовой и кормовых частях, но удавалось хорошо выполнять оболочки и из 6 полотнищ.

Практически раскрой оболочки производится следующим способом. Имея заданную форму и размеры оболочки, разбиваем ось оболочки на равные (обычно по 1000 мм) интервалы и определяем для границ каждого интервала величину r . Имея r , составляем показанную ниже таблицу, из которой получаем все размеры полотнища (табл. VI).

Таблица VI

№ сечений	x мм	r_i мм	$r_{i+1} - r_i$ мм	$(r_{i+1} - r_i)^2$ мм ²	$(\Delta x)^2 + (5)$ мм ²	l_i мм	Σl_i мм	$b_i = \frac{\pi r_i}{n}$ мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1								
2								
3								
4								

В этой таблице x — расстояние сечения от носа оболочки.

Крайнюю носовую и кормовую части оболочки в зависимости от их формы раскраивают или в виде плоской шайбы или как конус.

Разбивка на трапеции производится или на чертеже, или на чертеже лишь указывается линия начала разбивки с тем, чтобы сама разбивка производилась непосредственно на шаблоне.

Трапецеидальный раскрой очень удобен для производства, так как при небольшой длине трапеций (ширина полотнища) легко производить подбор бездефектных кусков материи со сравнительно малыми отходами. Сшивка трапеций в полотнища производится просто и легко, а продольных швов сравнительно мало. С точки зрения прочности оболочки трапецеидальный раскрой также хорош, так как частая сетка швов равномерно подкрепляет оболочку в продольном и поперечном направлениях. Недостатком трапецеидального раскроя является сравнительно большая длина швов, но утяжеление по сравнению с другими способами раскроя не превышает во всяком случае 1% от веса оболочки. Для привязного аэростата типа М американцы применяли трапецеидальный раскрой с одинаковой разбивкой на трапеции всех полотнищ. Поэтому поперечные швы в этом аэростате идут, не прерываясь, вокруг оболочки. Это при деформациях оболочки от сверхдавления газа может вызвать перехваты на швах. Выгодной стороной этого способа является то, что для изготовления всей оболочки нужен только один шаблон.

В итальянских аэростатах типа «Аворио-Прасоне» применяется так называемый меридианальный раскрой. Метод развертки и рабочие таблицы в этом случае остаются такими же, как для трапецеидального раскроя, но полученное полотнище не разбивается на отдельные трапеции, а выкраивается из материи целиком от носа до кормы. Число полотнищ в этом случае выбирается так, чтобы ширина полотнища в середине была равна или несколько меньше раскройной ширины выбранной материи. При этом число полотнищ получается довольно значительным. Так например, для оболочки, имеющей в середине диаметр 12 м, при раскройной ширине материи в 1,2 м нужно иметь 32 полотнища. Общая длина швов в этом случае будет меньше, чем, например, при трапецеидальном раскрое из 16 полотнищ.

С точки зрения производства меридианальный раскрой сложнее трапецеидального, а отходы и трудность подбора материи возрастают. Применение этого раскроя невыгодно еще и тем, что при трапецеидальном раскрое по направлению наибольших напряжений (поперек

оболочки) идет менее деформирующаяся и более прочная основа материи, тогда как при меридианальном раскрое поперек оболочки идет более слабый и более деформирующийся уток. Это явление учтено итальянскими конструкторами, так как поперек оболочки, почти через каждый метр, наклеены усилительные ленты. Таким образом выигрыш в весе швов поглощается весом усилительных лент.

В Америке и Англии большим распространением пользуется метод, называемый раскроем по усеченным конусам. Допущение, применяемое в этом методе, заключается в том, что поверхность двоякой кривизны мы заменяем рядом усеченных конусов, имеющих общие основания. Эти усеченные конуса разворачиваются по обычным правилам начертательной геометрии. Описание этого метода раскроя приводится в книге Блекмор и Пэгон «Нежесткие воздушные суда» и в книге Н. В. Лебедева «Дирижабли», а также в приложении к сферическим оболочкам в § 5 раздела III настоящей работы.

Преимуществом этого способа раскроя является плавность формы оболочки, особенно в носовой и кормовой частях. Длина швов такая же, как и при трапецидальном раскрое из того же числа полотнищ. Расчет раскроя и изготовление шаблонов сложнее, чем при меридианальном и трапецидальном раскроях. Возможность выбора материи (пропуск мест с местными пороками) та же, что и при трапецидальном раскрое, но использование материи хуже, так как из-за искривленности оснований трапеции получаются значительные отходы. По нашему мнению американские и английские заводы придерживаются этого метода лишь по какой-то технической традиции, так как никаких особых преимуществ он не имеет.

Выбрав метод раскроя и изготовив чертежи полотнища, необходимо установить конструкцию шва, соединяющего отдельные трапеции и полотнища. Требования к шву заключаются в получении равнопрочности и равной газопроницаемости с основной материей при минимальном весе шва.

Швы прорезиненных материй склеиваются резиновыми клеями и прошиваются нитками на швейной машине. Прошивка должна гарантировать равнопрочность шва при расхождении склейки и предохранять склейку от раздира. Для двухслойной диагонально дублированной материи опытами, производившимися в СССР, установлено, что минимальное расстояние строчки от кромки материи может быть 3—4 мм. При меньших расстояниях строчка не срезается, а вырывает нити ткани. Опыты производились со строчками из хлопчатобумажных ниток № 3 при числе стежков 3—3,5 на 1 см шва.

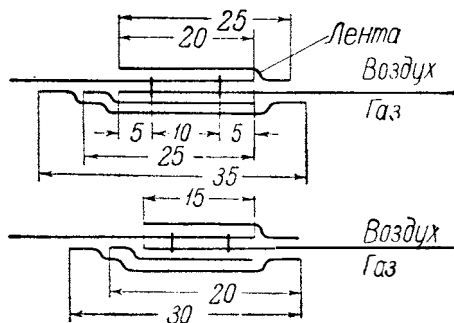
Для получения равнопрочности несклеенных швов, необходимо иметь две параллельные строчки. Прострочка между ними еще одной строчки по синусоиде (так называемый немецкий шов) не увеличивает прочности, а лишь приводит к прорубанию материи иглой там, где синусоида подходит к параллельным швам. Применяя нитки меньшей толщины, например № 10, получаем шов несколько менее прочный, чем основная материя, но с меньшей газопроницаемостью вследствие меньших проколов.

Соответственной комбинацией толщины (номера) ниток, числа строчек и расстояния между ними можно получить наивыгоднейший

в каждом данном случае шов. Перед прошивкой швы склеиваются резиновым клеем.

Нашими опытами было установлено, что при пересклейке в 15 мм без прошивки больше половины образцов при испытании на разрывной машине разрывается по целому месту. Следовательно, для получения полной гарантии достаточно делать пересклейку наружных швов, подверженных атмосферным воздействиям, в 20 мм. Эта ширина пересклейки дает возможность прошить шов двумя строчками на расстоянии от кромок пересклейки в 5 мм и с расстоянием между строчками в 10 мм. Таким образом даже при разрушении склейки равнопрочность шва будет сохранена. Двойная перестраховка (склейкой и прошивкой) может считаться необходимой, так как обе эти операции производятся вручную и трудно контролируются. Здесь следует учесть и то, что длина швов на оболочке привязника измеряется сотнями, а на оболочках дирижаблей даже тысячами метров.

Для предохранения ниток строчек и для получения полной газонепроницаемости мест проколов иглой, швы заклеиваются лентами. В нашей практике принято закрывать шов одной лентой (в цвет материи) с наружной стороны и двумя лентами (из белого материала) с внутренней стороны. Ширина лент выбирается такой, чтобы лента перекрывала лежащий под ней край пересклейки, строчку или край предыдущей ленты на 5 мм. Эта



Фиг. 65. Схема швов оболочки привязного аэростата.

перекрышка является минимальной, гарантирующей газонепроницаемость. Обычно принято применять для лент такой же перкаль, из какого изготовлялась материя самой оболочки. Материя для лент прорезинивается, но почти не вулканизируется для лучшей приклейки. В Дирижаблестрое в настоящее время применяют для всех лент, покрывающих швы, материю из легкого перкаля весом 60—65 г/м² вместо ранее применявшейся материи из среднего перкаля весом 95—100 г/м². Это дает значительную экономию в весе швов.

Схемы типового и узкого облегченного швов для двухслойной диагонально дублированной материи прочностью в 1000 кг/м представлены на фиг. 65.

Второй тип шва можно применять при полной уверенности в тщательности производства, при которой полученное облегчение не вызовет уменьшения прочности.

Для подсчета веса швов примем обозначения:

q (г/м) — вес шва;

b_1 (мм) — ширина пересклейки;

b_2 (мм) — ширина наружной и первой внутренней лент;

b_3 (мм) — ширина второй внутренней ленты;

p_1 (г/м²) — вес материи оболочки;

p_2 (г/м²) — вес материи лент, принимаемый для всех лент одинаковым.

Приняв, что на пересклейку идет 80 г/м^2 и на наклейку лент по 60 г/м^2 резинового клея (после высыхания растворителя), можно написать:

$$q = 0,001 [(b_1 (p_1 + 80) + 2b_2 (p_2 + 60) + b_3 (p_2 + 60))] \text{ г/м.} \quad (115)$$

Для швов, показанных на фиг. 65, это выражение примет вид:

$$q_1 = 0,05 (0,4 p_1 + 1,7 p_2 + 184) \text{ г/м;} \quad (116)$$

$$q_2 = 0,05 (0,3 p_1 + 1,4 p_2 + 108) \text{ г/м.} \quad (117)$$

Весом ниток можно пренебречь, ввиду его малости. При весе матери оболочки аэростата в 360 г/м^2 и весе лент в 140 г/м^2 (перкаль весом $95\text{—}100 \text{ г/м}$) формулы (116) и (117) дадут:

$$q_1 = 25,8 \approx 26 \text{ г/м;}$$

$$q_2 = 20,6 \approx 21 \text{ г/м.}$$

При лентах из легкого перкаля с полным весом в 100 г/м^2 соответственно получим:

$$q_1 = 22,4 \approx 23 \text{ г/м;}$$

$$q_2 = 17,8 \approx 18 \text{ г/м.}$$

Назначение баллонета, как было указано выше, заключается в том, чтобы компенсировать сжатие газа при спуске аэростата. Так как баллонет непосредственно соединен с воз духоулавливателем, то давление в баллонете равно скоростному напору воздуха. Передаваясь газу, оно предохраняет нос аэростата от образования ложек. Объем баллонета определяется потолком аэростата. Обычно объем баллонета составляет от 26 до 31% от объема оболочки. Можно считать, что каждому килограмму свободной подъемной силы, которую аэростат имеет на земле, должен соответствовать 1 м^3 объема баллонета.

Форма и расположение баллонета привязного аэростата определяются расчетом устойчивости. Они зависят от желательного влияния степени выполнения баллонета на наклон оси аэростата. В некоторых случаях, стремясь получить устойчивость аэростата при сильном ветре увеличением аэродинамической подъемной силы, располагают баллонет в кормовой части оболочки. При выполнении баллонета воздухом центр подъемной силы перемещается к носу, и аэростат получает диферент на корму.

Таким образом расположен баллонет у аэростатов Како типа М. У этого аэростата линия пришива баллонета к оболочке лежит в горизонтальной плоскости, когда оболочка имеет на уровне земли и при безветрии нормальный диферент на корму. Такое расположение удобно тем, что при быстром выборе привязного троса положительный угол атаки аэростата растет, почему его лобовое сопротивление, а следовательно и натяжение привязного троса, увеличиваются. Поэтому расположен баллонет в привязном аэростате Како типа R. У этого аэростата баллонет занимает почти всю длину оболочки, и центр его объема расположен ближе к носу аэростата. Ось оболочки аэростата в нормальном положении расположена горизонтально, а линия пришива баллонета к оболочке идет с подъемом к носу. Этим достигается то, что при выборе аэростата угол атаки и лобовое сопротивление

тивление аэростата уменьшаются, благодаря чему скорость выбирания может быть увеличена.

К вопросу о выборе расположения баллонета привязного аэростата надо подходить крайне внимательно, так как при расположении центра объема баллонета слишком близко к носу аэростат может начать козырять при выбирании.

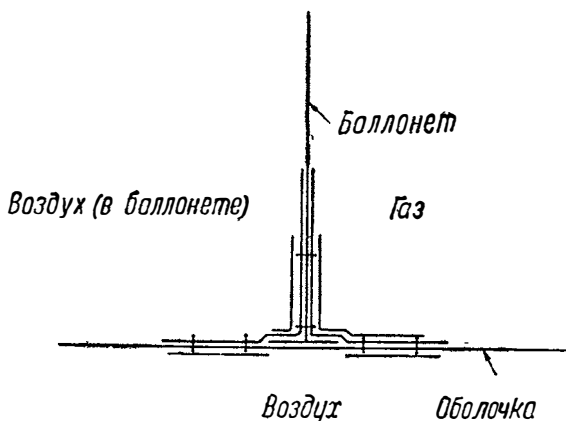
Геометрическая форма баллонета зависит от его расположения. Здесь нужно помнить, что для обеспечения свободного выкладывания поверхности пустого баллонета по оболочке как продольные, так и поперечные дуги поверхности баллонета должны быть на 8—10% больше соответственных дуг оболочки. Раскрой, т. е. разворачивание на плоскость поверхности баллонета, производится тем или иным методом начертательной геометрии в зависимости от его формы. В американских аэростатах поверхность баллонета обычно раскраивается на отдельные трапеции по методу усеченных конусов.

Материя баллонета, отделяя газовое пространство от воздушного, должна иметь газопроницаемость не большую, чем материя внешней оболочки. С другой стороны, материя баллонета не испытывает почти никаких напряжений, так как давление воздуха на уровне его поверхности в баллонете больше давления газа лишь на величину, обуславливаемую весом оболочки баллонета.

От непосредственных атмосферных воздействий материя баллонета полностью защищена внешней оболочкой. В соответствии с этим для баллонета может быть выбрана самая легкая материя, обладающая газопроницаемостью не свыше 15 л/м^2 в сутки. Такой материей является, например, двухслойная параллельно дублированная материя из легких перкалей. Вес такой неокрашенной и без внешнего резинового слоя материи не превышает $240\text{—}250 \text{ г/м}^2$ при прочности $900\text{—}1100 \text{ кг/м}$. Однослойной газонепроницаемой материи при современном состоянии технологии прорезиненных материй получить не удастся.

Шов трапеций баллонета может быть слабее швов внешней оболочки. Достаточно иметь пересклейку в 10 мм , одну строчку тонких ниток и по одной ленте шириной 15 мм изнутри и снаружи. Третьей ленты не нужно, так как шов не может подвергаться непосредственным атмосферным воздействиям. В американском привязном аэростате типа М трапеции баллонета только склеены и покрыты лентами, без всякой прошивки.

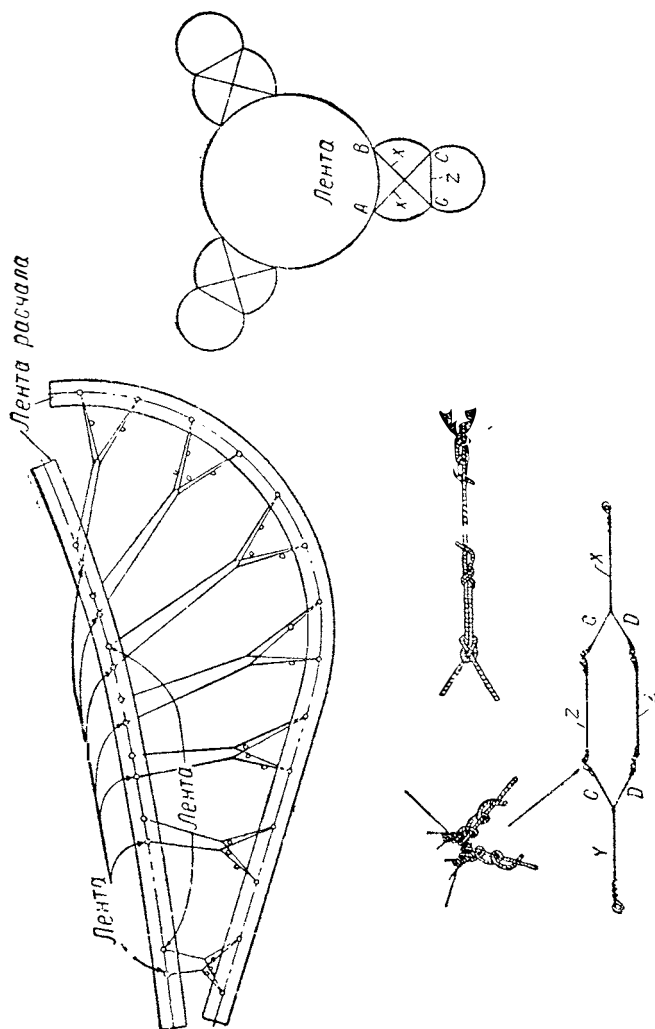
Присоединение баллонета к оболочке производится посредством специальной конструкции. Эта конструкция должна препятствовать



Фиг. 66. Присоединение баллонета к оболочке.

отрыву баллонета от оболочки при случайных натяжениях его материи под большим углом к поверхности оболочки.

Как видно из фиг. 66, к краю баллонета приклеены и пришиты с двух сторон ленты большой ширины из той же материи, что и поверхность баллонета. Этими прикрепительными лентами, отогнутыми под пря-



Фиг. 67. Рулевой мешок азростата типа М.

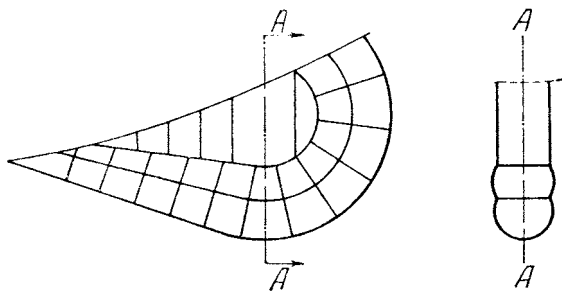
мыми углами, баллонет приклеивается к оболочке. В некоторых конструкциях эти ленты пришиваются к оболочке, но по нашему опыту даже для дирижабля достаточно приклеить каждую ленту к оболочке на ширину в 30 мм. Лента, наложенная между оболочкой и прикрепительными лентами, служит для предохранения от раздираия строчки, ближайшей к оболочке. Она накладывается на прикрепительные ленты до присоединения баллонета к оболочке. Остальные ленты

служат для получения газонепроницаемости строчек и для предохранения кромок прикрепительных лент от случайного отдиранья.

При разработке крепления баллонета к оболочке нужно помнить о том, что излишнее количество усиления значительно утолстит место приклейки и тем самым будет препятствовать свободным деформациям оболочки, образуя складки и перехваты. При изготовлении чертежей баллонета надо следить за тем, чтобы линия пришива по баллонету была равна, а лучше длиннее этой же линии на оболочке.

Форма рулевых мешков (фиг. 61) задается на основании аэродинамического расчета азэростата. Обычно азэростат имеет три рулевых мешка одинаковой формы, показанной на фиг. 67. Из этой фигуры видно, что внешняя часть — «борт атаки» — рулевого мешка образована частью тора и прямым цилиндром. Стенки промежутка между бортом атаки и поверхностью оболочки раскраиваются либо целиком как плоские, либо как борт атаки с плоской вставкой прилегающей к оболочке (фиг. 68).

Раскрой тора на отдельные поперечные трапеции является нормальной задачей начертательной геометрии и дополнительных пояснений не требует. Прямая часть борта атаки образуется из прямоугольников, срезаемых в месте присоединения мешка к оболочке. Линия пересечения мешка и оболочки определяется методом нормальных и продольных сечений.



Фиг. 68. Вариант схемы рулевого мешка.

От материи, идущей на изготовление рулевых мешков, требуется сравнительно невысокая прочность при воздухопроницаемости порядка 30—40 л/м² в сутки. Этим требованиям удовлетворяет однослойная прорезиненная материя из легких или средних перкалей, прорезиненная с одной или двух сторон. Внешняя окраска материи рулевых мешков обычно делается той же, что и материи самой оболочки. Швы выбираются соответственно прочности материи, обычно с одной строчкой, и перекрываются снаружи и изнутри одной лентой. Как бы ни был образован и раскроен рулевой мешок, он под влиянием сверхдавления воздуха стремится принять форму, сечение которой близко к кругу. Чтобы препятствовать такому раздуванию мешка и придать ему более или менее плоскую форму, применяют систему внутренней расчалки.

Как видно на фиг. 67, эта система состоит из стяжек z , расположенных по линии пересечения борта атаки с заполнением, и диагональных расчалок x . Стяжка предохраняет мешок от раздувания, диагональные расчалки, помимо предохранения мешка от раздувания, воспринимают на себя аэродинамические нагрузки. Внутренние расчалки изготавливаются из льняного или пенькового канатика диаметром 6—8 мм. Для крепления расчалок по линиям присоединения мешка к оболочке и борта атаки к заполнению вшиваются ленты A , B и C из

двухслойной материи. В сечениях, где лежат расчалки, к лентам пришиваются матерчатые петли наподобие гусиных лапок, к которым и крепятся расчалки. Для лучшего распределения нагрузки, в местах крепления к лентам диагональные расчалки x раздвигаются, как это показано на развертке внизу фиг. 67 и в разрезе наверху ее.

Система веревочных расчалок легка по весу, но вместе с тем довольно сложна и требует регулировки в процессе эксплуатации. Поэтому в некоторых конструкциях система расчалок заменяется системой продольных и поперечных диафрагм. Диафрагмы располагаются по тому же принципу. Они изготавливаются из непрорезиненного перкаля и для лучшего прохода воздуха, а также для облегчения, снабжаются рядом отверстий, усиленных по кромкам забортованным шпагатом. Такая конструкция более сложна в производственном отношении, но более удобна в эксплуатации.

В некоторых случаях верхние рулевые мешки поддерживаются сверху дополнительной наружной растяжкой, закрепленной одним концом к шайбам на оболочке.

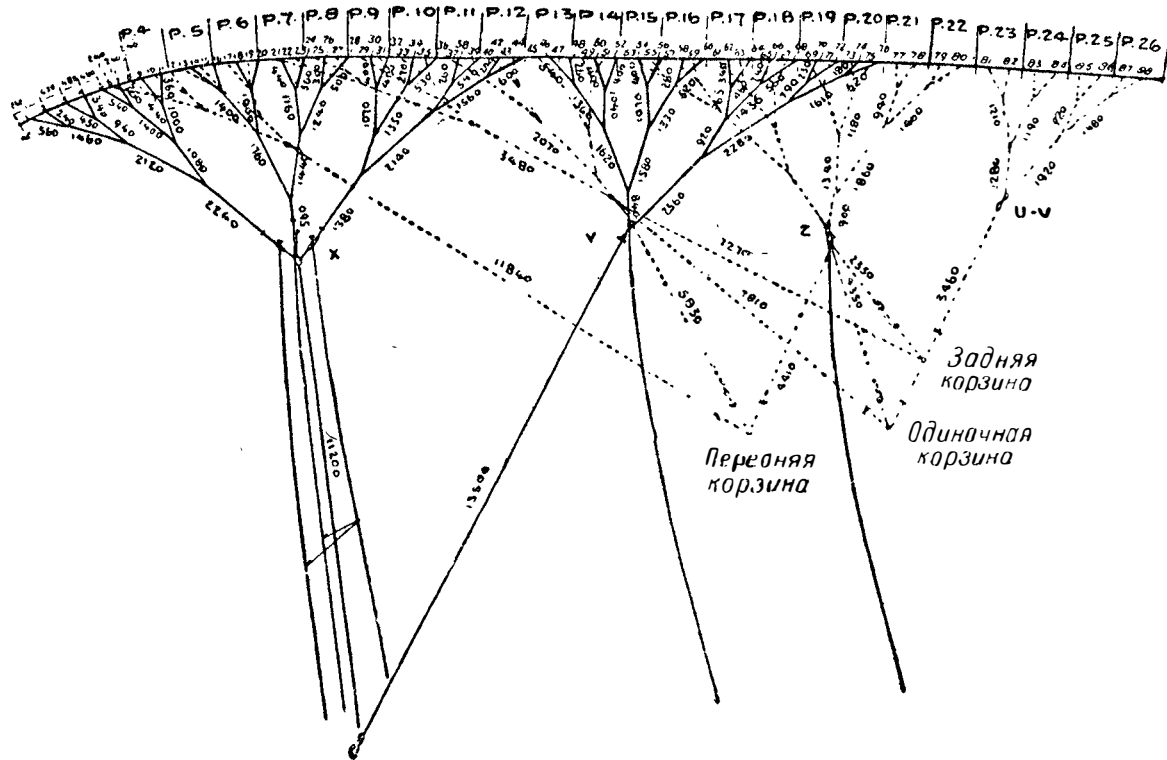
Питание рулевых мешков воздухом (фиг. 61) осуществляется посредством улавливателей, расположенных обычно на нижнем, вертикальном рулевом мешке. Воздухоулавливатель представляет матерчатый раструб, усиленный для жесткости забортованным в кромки шпагатом. Верхние рулевые мешки питаются от нижнего посредством матерчатых шлангов, наклеенных на оболочку.

§ 4. РАСЧЕТ И КОНСТРУКЦИЯ ПОЯСА И ТАКЕЛАЖА

Крепление подвески к оболочке осуществляется обычно (фиг. 61) с помощью матерчатого пояса. Пояс изготавливается из хлопчатобумажного брезента типа автоканваса и приклеивается и пришивается к оболочке несколько ниже экватора. Проекция на вертикальную плоскость линии пришива пояса к оболочке образует обычно прямую, параллельную оси оболочки. Приклейка пояса к оболочке имеет обычно ширину не менее 60 мм. Пришивка производится тремя параллельными строчками. Кроме того, на соединение накладывается ряд наружных и внутренних лент, служащих для усиления и предохранения строчек. На свободные концы пояса накладываются круглые шайбы, распределяющие по оболочке концевые усилия в поясе.

Для крепления подвески на поясе прикрепляются так называемые «гусиные лапки». Гусиные лапки (фиг. 55) состоят из трех матерчатых петель. Каждая петля, сделанная из сложенной в несколько (10—12) раз полоски перкаля, обоими своими концами приклеивается и пришивается к поясу. Свободная часть петли плотно ошпаговывается 1—1,5-миллиметровым шпагатом. Вследствие перегибов и складывания перкаля подсчитать прочность петли довольно затруднительно. Самое лучшее подобрать размеры и конструкцию петли экспериментальным путем. Разрушающая нагрузка каждой из трех петель должна равняться разрушающей нагрузке подходящей к лапке веревки.

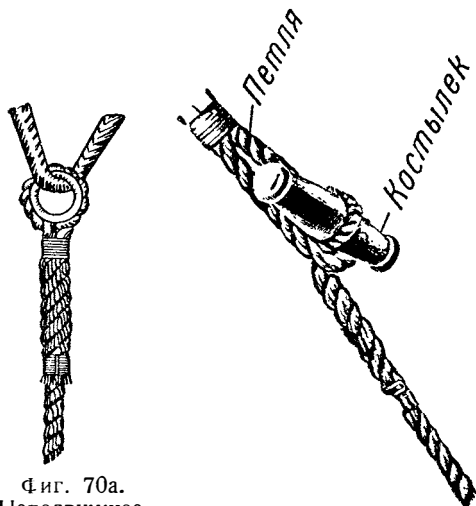
Получив из центровочных расчетов положение корзины относительно оболочки и направление привязного троса, можно приступить к выбору схемы подвесного и привязного такелажа. Выбор схемы предварительно делается на боковом виде азростата.



Фиг. 69. Развернутая схема подвески аэростата типа R (размеры в мм).

Чтобы фиксировать положение корзины относительно оболочки и придать корзине большую устойчивость при кренах аэростата, подвеску корзины желательно осуществлять посредством трех пар строп. Средняя пара строп, идущих близко к вертикали, воспринимает в основном вес корзины, передняя и задняя пары строп, идущих под большим углом к вертикали, предохраняют корзины от раскачивания при кренах. Горизонтальность корзины при кренах аэростата осуществляется посредством подвески ее к трапеции, к которой крепятся три пары указанных выше строп. Корзина подвешивается к трапеции также на трех парах коротких строп.

Чтобы угол между осью оболочки и направлением привязного троса мог меняться в зависимости от скорости ветра и других причин, уздечка привязного троса обычно состоит из двух пар строп, сходящихся в точке крепления привязного троса.



Фиг. 70а.
Неподвижное
соединение
веревек.

Фиг. 70б. Скользящее
соединение веревек.

Равномерное распределение нагрузок от строп по поясу осуществляется системой спусков. Число рядов спусков обычно равно трем или четырем. Каждый спуск переходит в следующем ряду в два спуска. Таким образом натяжение стропы при четырех рядах спусков распределяется на шестнадцать гусиных лапок. Расстояния по длине пояса между гусиными лапками обычно принимаются одинаковыми. Для определения истинной длины спусков и углов между ними схема подвески, устанавливаемая на боковом виде, разворачивается тем или

иным способом на плоскость (фиг. 69). Эту операцию лучше всего производить графически, что при соответственно выбранном масштабе обеспечивает достаточную точность. Зная натяжение строп и углы между спусками, легко путем последовательного разложения сил найти усилия во всех спусках и по этим усилиям подобрать их сечения.

В привязных аэростатах подвесной такелаж (такелаж корзины) ввиду сравнительно небольших натяжений изготавливается из льняных или пеньковых веревок. Привязной такелаж (такелаж привязного троса) за исключением строп уздечки, изготавливаемых из стального троса, так же делается из веревок. Примерные сечения веревок различных элементов такелажа будут указаны ниже при описании типовых аэростатов. При подборе сечений запас прочности следует принимать не ниже 8, из-за сравнительно быстрого износа веревок.

Конструктивно соединение спусков осуществляется следующим способом. В конец каждого спуска (фиг. 70а) заплетается круглый медный коуш, сквозь который свободно пропущен следующий спуск. Такое

скользящее соединение обеспечивает равномерность распределения нагрузки и придает некоторую подвижность всей системе. Для получения неподвижных, но разъемных соединений такелажа применяют соединения с помощью петли и костылька (фиг. 70б). Применение веревочного такелажа, давая некоторое утяжеление и увеличение лобового сопротивления, удешевляет стоимость аэростата и упрощает его эксплуатацию.

§ 5. РАСЧЕТ И КОНСТРУКЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ КЛАПАНОМ РАЗРЫВНОГО И Т. Д.

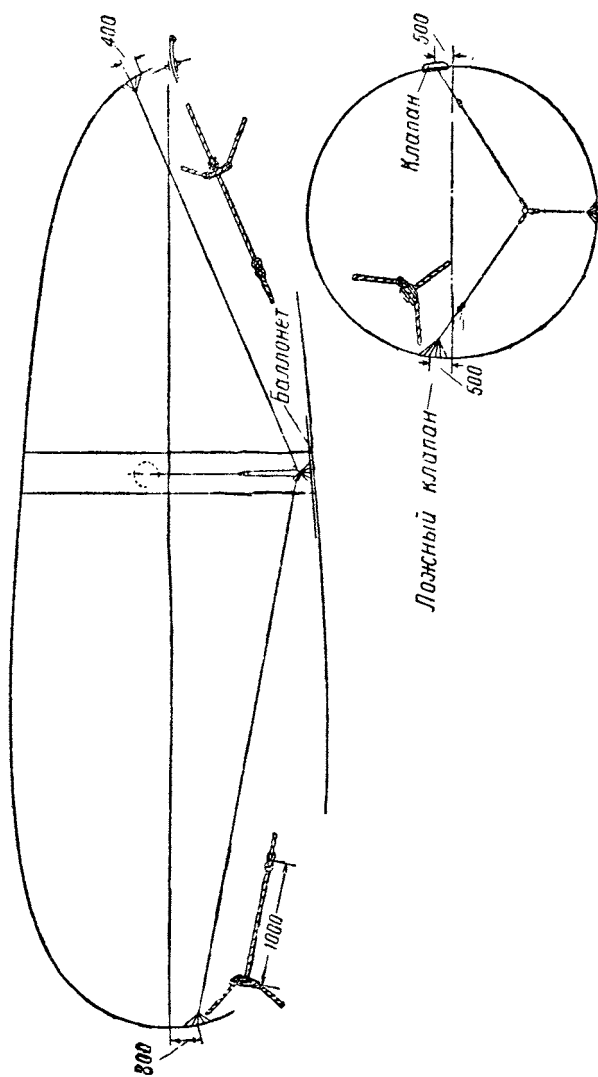
Необходимым оборудованием каждого привязного аэростата является газовый клапан. Для привязных аэростатов применяются тарельчатые клапаны с механизмом возможно более простой схемы. Тарелка этих клапанов обыкновенно открывается внутрь газового пространства, почему управление клапаном осуществляется с помощью веревки, идущей внутри газового пространства и выходящей из оболочки к корзине через специальную газонепроницаемую пробку. Такое устройство возможно потому, что клапан употребляется только при свободных полетах, что бывает сравнительно редко. Подробное описание конструкции клапанов, применяющихся для привязных аэростатов, будет дано ниже, в разделе VIII. Здесь мы остановимся лишь на оригинальной системе автоматического управления клапаном (фиг. 71), с успехом применяющейся на привязных аэростатах.

Клапан устанавливается сбоку оболочки, приблизительно на середине ее длины и несколько выше экватора. С противоположной стороны на усилении, наклеенном на оболочке, укрепляется веревочный конус (называемый ложным клапаном), к вершине которого с некоторой слабиной присоединяется клапанная веревка. От середины клапанной веревки отходит веревка, присоединенная к вершине второго веревочного конуса, укрепленного на поверхности баллонета. Длины всех веревок выбраны так, что при полном выполнении оболочки газом и при прижатии поверхности баллонета к оболочке, натяжение веревок открывает клапан и выпускает излишек газа. Для направления движения конуса, укрепленного на баллонете, служат две веревки, идущие от усилений (конусов) в носу и корме оболочки к конусу на баллонете. На ложном клапане иногда устраивается приспособление для регулировки длины клапанной веревки.

При эксплуатации в полевых условиях описанное приспособление с простым клапаном удобнее автоматических газовых клапанов сложной конструкции, которые иногда все-таки применяются.

Автоматическое управление газовым клапаном необходимо на привязных аэростатах на случай внезапного повышения газового давления (хотя бы от сильного солнечного разогрева) в то время, когда аэростат находится почти на зоне выполнения. Наблюдатель, занятый своей основной работой в боевой обстановке, легко может не заметить этого повышения давления.

Для совершения благополучной посадки после свободного полета и для выпуска газа из аэростата при его разоружении необходимо разрывное полотнище. Размеры отверстия разрывного по американскому



Фиг. 71. Схема автоматического управления клапаном.

кодексу безопасности аэронавтики должны обеспечить выпуск 30% газового объема в течение первой минуты вскрытия разрывного полотна.

В некоторых конструкциях привязных аэростатов разрывное отверстие делается в виде треугольной щели, расположенной несколько ниже носовой точки оболочки. Угол при вершине щели выбирается от 30 до 90°. В американских привязных аэростатах типа М и R щель разрывного делается в виде ряда эллиптических отверстий (6—8 шт.), прорезанных в верхней части оболочки. Оси этих отверстий располагаются в одном поперечном сечении оболочки. Края отверстий усиливаются забортованной веревкой. Изнутри оболочки отверстия заклеиваются специальным языком, изготовленным из той же материи, что и сама оболочка. Заделка языка на оболочке может производиться одним из способов, указанных выше для заделки языков разрывных полотнищ сферо-аэростатов.

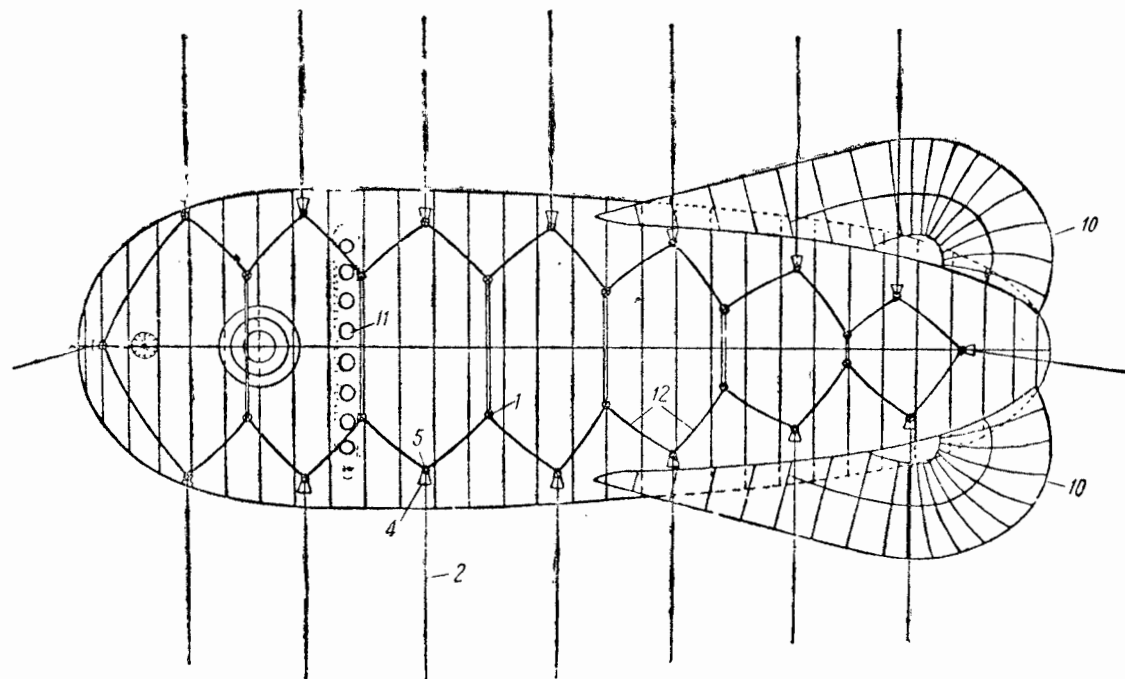
Вскрытие разрывного производится с помощью разрывной вожжи. Один конец ее присоединен к концу языка, затем вожжа образует петлю, прикрепляясь с помощью карабина или тонкого шпагата к предохранительной шайбе, и через специальную пробку выводится из оболочки к корзине. После вывода из оболочки разрывная вожжа также должна быть закреплена с помощью карабина или шпагата на предохранительной шайбе снаружи аэростата для предотвращения случайного открытия пробки.

Для наполнения оболочки газом служит апендикс, помещаемый обычно в носовой части аэростата. Стандартный диаметр апендикса у нас принят в 500 мм. Такой диаметр позволяет человеку влезать внутрь оболочки при ее осмотре под воздухом. В некоторых конструкциях привязных аэростатов апендикс в виде шланга доводится почти до корзины (например, аэростат Како типа М). Иногда длинные апендиксы снабжаются обратным клапаном, который позволяет пополнять оболочку, но не дает возможности газу выходить из нее. В современных аэростатах длина апендикса обычно около 1 м. При отсоединении питающего шланга такой апендикс наглухо завязывается шпагатом, всовывается внутрь оболочки и закрывается снаружи специальным матерчатым фартуком.

Для маневрирования с аэростатом на земле и закрепления оболочки на биваке применяются так называемые бивачные веревки, крепящиеся к бивачному поясу на оболочке. Общий вид пояса аэростата типа М показан на фиг. 72.

Этот пояс делается из прочной пеньковой тесьмы шириной 50—80 мм, наклеенной на оболочку так, как показано на фиг. 72. В углах тесьма образует петли, в которые закладываются кольца в форме D для пропуска бивачных веревок. Под петли тесьмы подкладываются усиления в виде круглых шайб из хлопчатобумажного брезента, к которым тесьма приклеивается и пришивается прочными нитками. Поперечные ленты, соединяющие узлы правого и левого поясов, разгружают материю спины оболочки от натяжений, создаваемых бивачными веревками при креплении аэростата на биваке.

Тесьма пояса не пришивается к оболочке, а лишь приклеивается к ней. Сверху вся тесьма заклеивается лентой в цвет оболочки. На



Фиг. 72. Бивачный пояс аэростата Како типа М:

1 — шайба пояса, 2 — бивачная веревка, 4 — сектор усиления, 5 — кольцо и шайба крепления бивачной веревки, 10 — рулевой мешок, 11 — разрывное, 12 — тесьма бивачного пояса.

чертеже пояса необходимо давать посадку тесьмы по оболочке, без чего пояс, имеющий меньшее удлинение, чем материя оболочки, стянет оболочку при ее деформации и вызовет образование бугров — «верблюдов».

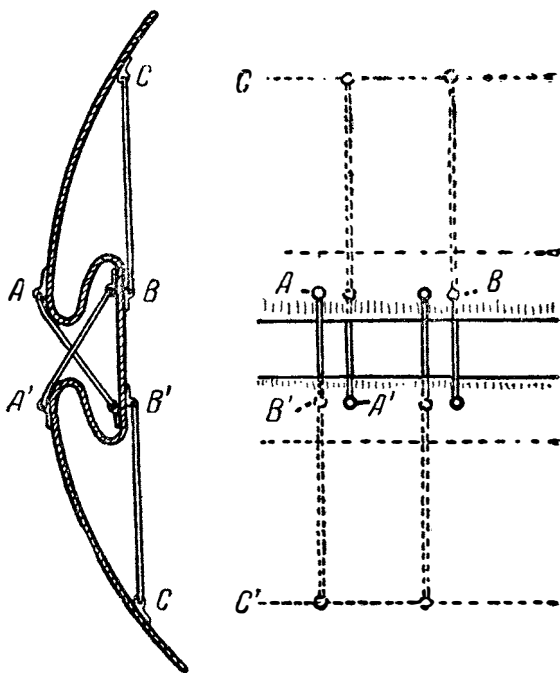
Чтобы избежать протирания оболочки поясными веревками, под узлами бивачного пояса на оболочку наклеиваются сектора усиления из двухслойной материи. Узлы пояса надо размещать так, чтобы при оболочке, лежащей на земле, бивачные веревки, идущие под углом в 45° к горизонту, являлись касательными к оболочке несколько ниже узлов.

Кроме бивачных веревок для маневрирования с аэростатом на земле в некоторых конструкциях применяют поясные веревки, крепящиеся к узлам (обычно ко вторым спускам) подвесного и привязного такелажа.

§ 6. РАСЧЕТ И КОНСТРУКЦИЯ АЭРОСТАТОВ С ПЕРЕМЕННЫМ ОБЪЕМОМ

Система поддержания давления в оболочке аэростата, состоящая из баллонета, питаемого воздухоулавливателем, ограничивает во многих случаях важное тактическое свойство аэростата — максимальную скорость снижения. Появление мощных лебедок, позволяющих производить выбирание аэростата с большой скоростью, потребовало применения других способов поддержания давления в оболочке. Один из таких способов использован в аэростатах со стягивающей системой или, как их иногда называют, в аэростатах с переменным объемом.

Принцип стягивающей системы заключается в следующем. В оболочке аэростата (фиг. 73) делаются две складки, одни края которых соединяются между собой, а другие с оболочкой с помощью эластичных резиновых шнуров. Поэтому каждому натяжению оболочки T будет соответствовать вполне определенное положение указанных краев складок, зависящее от упругости резиновых шнуров. Увеличение натяжения оболочки вызовет расхождение краев складок; уменьшение



Фиг. 73. Схема стягивающей системы.

натяжения, наоборот, вызовет сближение этих краев. Отсюда понятно, что при таких складках объем оболочки будет изменяться в зависимости от сверхдавления заключенного в ней газа. Поэтому аэростат, выполненный на земле до некоторого небольшого сверхдавления, по мере подъема будет увеличивать свой объем за счет расширения газа. При спуске будет происходить обратное явление, причем при уменьшении сверхдавления сжатие оболочки будет вызываться упругостью стягивающей системы, что ничем не ограничивает скорость выбирания аэростата.

Расчет стягивающей системы может быть произведен следующим методом. Пусть объем аэростата на нулевом уровне равен U_0 , а высота потолка H равна 1000 м. По объему U_0 и выбранной форме аэростата находим все его геометрические размеры и в том числе радиусы поперечных сечений r .

По таблице стандартной атмосферы находим, что давления воздуха на нулевом уровне и на высоте 1000 м соответственно равны 760 и 674,09 мм рт. ст. или 10 333 и 9180 мм вод. ст.

Чтобы стягивающая система могла растянуться и тем самым увеличить объем аэростата, нужно чтобы сверхдавление на потолке p_n было больше сверхдавления у земли p_0 . Величина p_0 выбирается из условий сохранения формы аэростата, а p_n — из условий прочности материи оболочки. Нормальными сверхдавлениями p_0 и p_n в нижней точке миделя могут считаться соответственно 5—8 и 20—25 кг/м². Пусть радиус миделя равен 5 м. Тогда сверхдавления p_0 и p_n на продольной оси аэростата могут быть приняты равными 10 и 25 кг/м².

По закону: $p_1 v_1 = p_2 v_2 = \text{const}$, находим:

$$(10\,333 + 10)U_0 = (9180 + 25)U_n;$$

отсюда:

$$U_n = 1,122U_0. \quad (118)$$

Температура газа принята постоянной. Изменение этой температуры зависит от разогрева газа, учесть который затруднительно.

Определив U_n , можно перейти к дальнейшему расчету. Считая площади соответственных сечений аэростата пропорциональными объемам U_n и U_0 , найдем, что длина радиуса миделевого сечения r_n определится из соотношения:

$$\frac{\pi r_n^2}{\pi r_0^2} = \frac{U_n}{U_0} = 1,122; \quad (119)$$

отсюда:

$$r_n = r_0 \sqrt{1,122} = 1,058r_0 = 5,29 \text{ м.}$$

Поэтому на нулевом уровне в складки должна быть забрана ширина B , равная:

$$B = 2\pi r_n - 2\pi r_0 = 1,82 \text{ м.} \quad (120)$$

Приняв, что оболочка имеет по своему поперечному сечению две стягивающих системы, можем найти глубину заложения складок:

$$b = \frac{B}{8}.$$

Расстояние a между краями складок в ненатянутом состоянии оболочки определяется из условий необходимой длины резиновых амортизаторов. Найдя по соответственным сверхдавлениям и радиусам r_0 и r_n натяжения материи T_0 и T_n и зная ширину складки b , легко можно по диаграмме растяжения резиновых шнуров подобрать число шнуров, их сечения и длины.

Определив эти величины для миделевого сечения, производим аналогичным образом пересчеты для ряда других сечений. Для обеспечения плавности формы оболочки необходимо, чтобы все линейные размеры складок были пропорциональны теоретическим радиусам соответственных сечений оболочки.

Практически окончательную регулировку длины шнуров приходится производить непосредственно на самой оболочке, выполняемой воздухом до различных давлений.

Число стягивающих систем почти всегда принимается равным двум. Редкие конструкции имеют одну или три стягивающие системы.

Стягивающие системы располагаются всегда ниже подвесного пояса, чтобы на них не передавалось влияния переменных нагрузок на пояс. Сама оболочка раскраивается тем или иным методом по теоретическому обводу максимально выполненной оболочки. Число отдельных шнуровых стяжек выбирается достаточно большим (до 300—400 шт. на оболочку), чтобы обеспечить максимальную равномерность работы всей системы и минимальные искажения оболочки при случайных разрывах одной или нескольких стяжек.

Крепление стяжки к оболочке выполняется в виде удлиненной шайбы, пришитой и приклеенной к оболочке и снабженной на свободном конце люверсом, сквозь который проходит шнур стяжки. Иногда отдельные шайбы заменяются сплошной лентой усиления с вделанными в нее люверсами. Из эксплуатационных соображений принято делать все стяжки из шнура одного и того же диаметра, меняя по длине оболочки число шнуров на единицу длины складки. В остальном проектирование аэростатов с изменяющимся объемом не отличается от обычного.

Эксплуатация аэростатов со стягивающей системой труднее эксплуатации нормальных, так как многочисленные шнуры могут лопаться, особенно при низких температурах.

Ремонт лопнувшей внутренней стяжки требует выпуска газа из оболочки или применения скафандра. При длительной эксплуатации шнуры требуют кропотливой перерегулировки.

Отсутствие баллонета заставляет отказаться от описанной выше внутренней системы автоматического управления клапаном и **требует** более сложных автоматических клапанов.

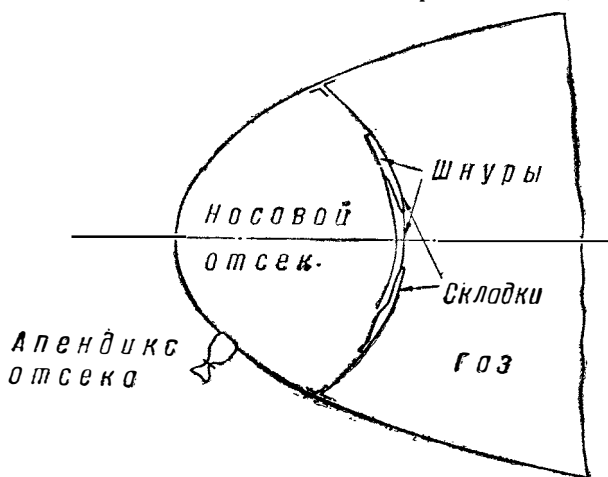
Пилотаж аэростата с переменным объемом в свободном полете весьма труден, так как незначительные изменения величины **сплавной**

силы вызывают большие изменения высоты полета аэростата (до зоны выполнения или до земли).

Указанные недостатки искупаются значительно большей скоростью выбирания, особенно при безветренной погоде.

В весовом отношении вся система получается того же, а иногда даже и меньшего веса, чем для нормального баллонетного аэростата.

Так как давление в оболочке в начале подъема бывает недостаточно для поддержания формы, особенно при сильном ветре, то в некоторых конструкциях в носовой части устраивается отдельный отсек, снабженный стягивающей системой (фиг. 74). Перед началом подъема этот отсек наполняют газом до большего сверхдавления, чем остальную оболочку.



Фиг. 74. Носовой стягивающийся отсек.

По мере подъема аэростата сверхдавление в отсеке благодаря соответственно подобранной стягивающей системе возрастает медленнее, чем в остальной части оболочки, так что под конец давления сравниваются. Такое дополнение, сложное как по конструкции, так и в эксплуатации, получило сравнительно малое распространение.

Многочисленные шнуры стягивающей системы увеличивают лобовое сопротивление аэростата. Поэтому делались попытки закрыть складки специальным поясом, но полученные результаты не оправдали усложнения конструкции и утяжеления аэростата.

§ 7. ОПИСАНИЕ ТИПОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИВЯЗНЫХ АЭРОСТАТОВ

В настоящее время в армиях почти всех стран приняты привязные аэростаты Како.

Общий вид привязного аэростата Како типа М был дан выше, на фиг. 61. Оболочка аэростата имеет номинальный объем 920 м³. Длина ее 25 м и максимальный диаметр 7,94 м. Форма образована двумя эллипсоидами вращения, с общим удлинением $\lambda = 3,15$. Раскрой и число трапеций различны у различных фирм, изготавливающих оболочки.

Материя¹ для оболочек применялась двухслойная диагонально дублированная, типов Q31A-2 или X86-A. Баллонет начинается с восьмой трапеции от носа оболочки и продолжается до кормы.

¹ Данные этих и указываемых ниже материй см. в книге Эпсон и Чандлер, Свободные и привязные аэростаты, стр. 247—257.

Объем баллонета равен 265 м^3 , что составляет 28,5% от полного газового объема оболочки. Расположение баллонета обеспечивает при его выполнении положительный угол атаки оболочки при сильном ветре. Материя для баллонета применяется двухслойная, параллельно дублированная типов Q28A-4 или X70-A.

Воздухопитание баллонета осуществляется от воздухоулавливателя через нижний вертикальный рулевой мешок. На корме оболочки укреплены три рулевых мешка, образующих оперение аэростата. Один из рулевых мешков, расположенный вертикально под оболочкой в плоскости симметрии, называется вертикальным стабилизатором. Два других рулевых мешка расположены под углом в 120° к нижнему вертикальному и называются горизонтальными стабилизаторами. Внутренняя расчалка стабилизаторов состоит из системы веревочных расчалок, показанных на фиг. 67. Все три рулевых мешка имеют одинаковую форму и конструкцию. Для рулевых мешков применяется однослойная материя типов Q31A-2 и X86-A.

Подвесной пояс этого аэростата состоит из полосы хлопчатобумажного брезента типа автоканвас, усиленного несколькими слоями материи, идущей на оболочку. Для прикрепления такелажа к поясу служат гусиные лапки, петли которых имеют ширину по приклейке в 25 мм. Каждая такая петля имеет разрушающую нагрузку в 136 кг. Общая разрушающая нагрузка гусиной лапки около 326 кг. Максимальное усилие, действующее на одну гусиную лапку при стоянке аэростата при ветре в $26,4 \text{ м/сек}$, не превышает 32 кг. Прикрепленные к гусиным лапкам первые спуски сделаны из веревки итальянской пеньки окружностью 19—20 мм и имеют разрушающее усилие в 545 кг, что дает запас прочности около 18.

Оболочка оборудована двумя газовыми клапанами. Один из клапанов расположен на нижнем меридиане оболочки на расстоянии четырех трапеций от носа аэростата. От этого клапана веревка идет снаружи аэростата непосредственно к его корзине. Клапан является управляемым и употребляется при свободных полетах при обрыве привязного троса. Второй клапан установлен на борту оболочки несколько выше экватора и для автоматического управления связан с поверхностью баллонета приспособлением, описанным выше в § 5. Клапаны установлены на оболочке с помощью специальных резиновых горловин, приклеенных к клапану и к оболочке.

Разрывное приспособление состоит из восьми эллиптических отверстий, прорезанных в верхней части оболочки и закрытых матерчатым языком. Язык приклеен и пришит одной строчкой к оболочке. Отверстия усилены забортованной веревкой. Разрывная вожжа прикреплена к деревянному кольцу, вделанному в конец языка, и затем через ряд направляющих, закрепленных на оболочке, подходит к выводу, от которого идет к корзине. Вывод разрывной сделан в виде резиновой пробки, сквозь которую проходит разрывная вожжа.

Подвеска корзины состоит из трех пар строп, которые с помощью спусков присоединяются к 32 (по 16 с каждой стороны) гусиным лапкам оболочки. Передняя стропа корзины имеет три ряда спусков, средняя стропа имеет четыре ряда спусков и задняя стропа опять имеет три ряда спусков. Такое распределение объясняется тем, что средняя

стропа несет большую часть веса корзины. Схема подвески указана на фиг. 69. Стропы подвески сходятся на трапеции, к которой непосредственно подвешивается корзина. Трапеция представляет ясеневый круглый брус длиной около 800 мм, имеющий по концам специальные выточки и гребни для крепления строп подвески и корзины.

Система такелажа привязного троса аналогична подвесному такелажу за исключением того, что она заканчивается не тремя, а двумя парами строп, сделанными из стальных тросов. Стропы заканчиваются специальным приспособлением для быстрого присоединения и отъединения привязного троса.

Воздухоулавливатель для питания баллонета и рулевых мешков установлен спереди и внизу вертикального стабилизатора. Подача воздуха из вертикального в горизонтальные стабилизаторы производится матерчатыми шлангами, наклеенными на оболочку. Питание воздухом баллонета производится из вертикального стабилизатора.

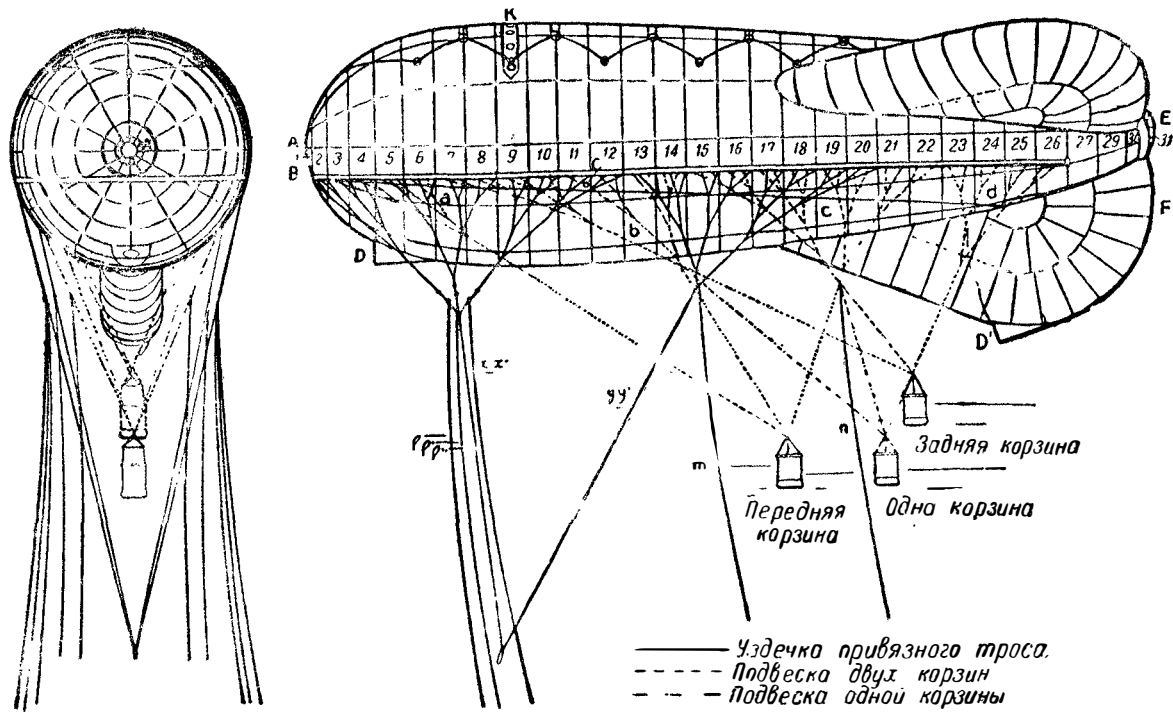
Рабочий потолок аэростата типа М с двумя наблюдателями и необходимым оборудованием на борту составляет от 400 до 500 м. Нормальная скорость спуска 2,2 м/сек, но может быть доведена до 5,5 м/сек в случае необходимости.

Для обслуживания артиллерии американских морских судов аэростат типа М был переконструирован с увеличением объема до 1120 м³. Новый аэростат получил обозначение F. Основные характеристики аэростата следующие:

Длина оболочки	28,65 м	Полная подъемная сила на	
Диаметр миделя	9,57 »	высоте 500 м ($\phi_n = 0,88$	
Площадь оболочки	692 м²	кг/м³, $\phi_o = 0,945$ кг/м³)	1 250 кг
Число рулевых мешков	3 шт.	Вес 500 м троса	184 »
Площадь рулевых мешков	330 м²	Свободная подъемная сила	
Объем баллонета	420 м³	на высоте 500 м	117 »
	(28,5 ^{9/10})	Полная подъемная сила на	
Поверхность баллонета	205 м²	1000 м ($\phi_n = 0,946$ кг/м³,	
Вес аэростата	729 кг	$\phi_o = 1,035$ кг/м³)	1 340 »
Экипаж — 2 чел.	163,5 »	Вес 1000 м троса	368 »
Балласт	27 »	Свободная подъемная сила	
Парашюты и инструменты	27 »	на 1000 м	25,5 »
Полная подъемная сила			
($\phi = 1,1$ кг/м³)	1 892 »		

При скорости ветра в 26,4 м/сек натяжение привязного троса достигает 1115,5 кг.

Наибольшим распространением во французской, английской, американской и бельгийской армиях во время империалистической войны пользовался аэростат Како типа R (фиг. 75), заменивший аэростат типа М. Имея объем больший, чем у типа М, аэростат типа R давал больший потолок или возможность производить подъем с двумя независимыми корзинами, что облегчало длительную работу наблюдателей, не мешающих друг другу. Оболочка аэростата R имеет объем в 1000 м³. Она изготовлена из двухслойной диагонально дублированной материи того же типа, что и для аэростата М. Оболочка раскроена по методу усеченных конусов, причем каждое из 12 полотнищ оболочки образуется из 33 трапеций. Направление диагонального слоя изменяется в каждой трапеции данного полотнища.



Фиг. 75. Привязной аэростат Како типа R:

А — клапан, В — апендикс, D — улавливатель баллонета, D' — улавливатель рулевых мешков, E — верхний рулевой мешок, F — нижний рулевой мешок, K — разрывное полотнище, a, b, c и d — группы спусков подвески корзины, m и n — поясные такелаж корзины, p, p', p'' — передние поясные, x, x', y и y' — уздечка привязного троса.

Подвесной пояс состоит из полосы хлопчатобумажного брезента, значительно усиленного лентами из материи оболочки. Пояс прикреплен почти по всей длине оболочки за исключением части, занятой рулевыми мешками. Для присоединения такелажа на поясе укреплены 176 (по 88 с каждого борта) гусиных лапок, снабженных деревянными костыльками для крепления петель подвески.

Подвесной такелаж состоит из трех (для одной корзины) или из шести (для двух корзин) пар строп. Через систему спусков эти стропы крепятся с каждой стороны к 48 костылькам петель подвесного пояса. Для удобства эксплуатации стропы различного назначения окрашены в разные цвета.

Две пары привязных строп изготовлены из стального троса диаметром 6,8 мм. Посредством системы веревочных спусков передняя пара строп крепится к 24, а задняя пара к 16 костылькам подвесного пояса с каждого борта оболочки. Нижние концы строп соединяются специальным замком, служащим для присоединения привязного троса. К узлам крепления привязных строп к спускам присоединены поясные веревки, по три к передним узлам и по одной к задним.

Баллонет аэростата типа R расположен в носовой части оболочки, что позволяет за счет перемещения центра тяжести к носу и получения отрицательного диферента производить выведение этого аэростата с большой скоростью. Линия пришива баллонета идет ниже подвесного пояса от носа почти до середины нижнего рулевого мешка. Поверхность баллонета раскроена из отдельных трапеций, только склеенных и покрытых по швам лентой, но не прошитых. Материя для баллонета та же, что и в аэростате типа М.

Воздухопитание баллонета осуществляется от улавливателя, укрепленного на нижнем меридиане оболочки близ носовой части. Кроме того, баллонет соединен отверстием с нижним рулевым мешком.

Разрывное полотнище расположено в верхней части оболочки вблизи миделевого сечения. Восемь эллиптических отверстий расположены по два на каждой трапеции, так что разрывное захватывает четыре верхних полотнища. Эти отверстия закрыты языком обычного типа. Разрывная вожжа, прикрепленная к одному концу языка, выводится из оболочки через специальную стандартную переходную деталь. Три рулевых мешка имеют в общем то же устройство, что и в аэростате типа М.

Наполнение оболочки газом производится через апендикс, находящийся несколько ниже носовой точки оболочки. Размер апендикса позволяет человеку влезать внутри оболочки при осмотре ее под водухом.

Оболочка оборудована одним клапаном, являющимся одновременно и управляемым и автоматическим. Клапан установлен в носовой части оболочки. Автоматическое управление производится посредством системы внутренней расчалки, связывающей клапан с поверхностью баллонета. В отличие от аэростата М система расчалки автоматического управления расположена в этом случае в продольном направлении оболочки. Веревка ручного управления клапаном проходит внутри оболочки и выводится из нее несколько ниже подвесного пояса и выше

линии пришива баллонета. Вывод клапанной веревки производится через резиновую пробку.

Характеристика аэростата:

Объем	1000	м ³
Длина оболочки	28	м
Диаметр миделя	8,3	"
Потолок с одной корзиной и двумя наблюдателями	1060—1222	м

Весовые данные аэростата:

	Вес отдельных деталей кг	Общий вес кг
1. Оболочка (включая швы и ленты) . . .	—	267,8
2. Баллонет (включая швы и ленты) . . .	—	45,3
3. Разрывное полотнище	—	6,2
Язык разрывного	3,5	
Разрывная вожжа	2,38	
Шайбы проводки вожжи	0,09	
Проход разрывной	0,23	
4. Апендикс для подполнения	—	0,85
Шланг апендикса	0,47	
Шайбы крепления фартука	0,01	
Фартук покрытия	0,37	
5. Воздухоулавливатель	—	0,45
6. Газовый клапан	—	13,93
Металлический клапан	8,65	
Клапанная прокладка	0,82	
Клапанное усиление по оболочке	0,32	
Клапанная веревка	0,74	
Внутренняя проводка веревки	3,40	
7. Манометрическая трубка	—	2,51
Манометрическая трубка	2,22	
Приемник манометрической трубки . . .	0,22	
Усиление оболочки под приемником . .	0,06	
Шайбы крепления трубки	0,01	
8. Смотровое окно (с усилением на оболочке)	—	0,45
9. Бивачный пояс	—	20,48
Бивачные веревки	10,60	
Шайбы для крепления веревок	4,00	
Круглые шайбы	0,68	
Бивачный пояс	5,20	
10. Такелаж и поясные	—	128,11
Подвесной пояс	20,70	
Спуски троса и подвески корзины . . .	36,20	
Стропы крепления привязного троса . .	12,20	
Поясные веревки (диаметром 20 мм, хлопчатобумажные с костыльками) . .	44,00	
Петли подвески	2,20	
Подвески корзины (с трапециями, костыльками и т. д.)	4,08	
Амортизатор корзины (полностью) . . .	4,08	
Соединительный карабин привязного троса	2,30	
Вспомогательная подвеска	2,35	
11. Рулевые мешки	—	70,23
Рулевые мешки, включая швы, ленты и т. д.	52,40	

(Продолжение)

Воздухораспределительные шланги . . .	1,36	
Воздухоулавливатель полностью	0,40	
Апендикс рулевых мешков с креплением	2,37	
Шайбы внутренней расчалки	3,76	
Внутренняя расчалка (веревка $d = 5$ мм)	3,00	
Пояса подвески	4,90	
Вспомогательные шайбы расчалки меш-		
ков	0,23	
Вспомогательная расчалка мешков (ве-		
ревка $d = 5$ мм)	1,81	
12. Корзина	—	43,38
Корпус корзины	20,40	
Спасательный круг	12,70	
Обтяжка корзины	3,73	
Коврик	1,81	
Сумка для карт	0,91	
Сидение	3,73	
Полный вес аэростата	—	599,7

В итальянской армии принят привязной аэростат Аворио-Прассоне, показанный на фиг. 76. Оболочка этого аэростата имеет форму симметричного эллипсоида вращения с малым удлинением. Обтекаемость оболочки достигается добавлением к ней кормового конуса, наполненного воздухом.

Применение формы близкой к сфере дает возможность при том же объеме уменьшить поверхность оболочки. По сравнению с аэростатом Како типа R выигрыш в весе получается равным 50 кг. Меньшая поверхность уменьшает также и порчу газа. Форма оболочки и рулевых мешков обеспечивает устойчивость аэростата при ветре до 26 м/сек.

Недостатками этой конструкции является жесткая короткая подвеска привязного троса и корзины, передающая на корзину качания аэростата, вибрации его оболочки и троса и хлопанье рулевых мешков. Значительные горизонтальные перемещения при порывистом ветре также затрудняют наблюдение. Близость привязного троса от корзины создает опасность при прыжках с парашютом.

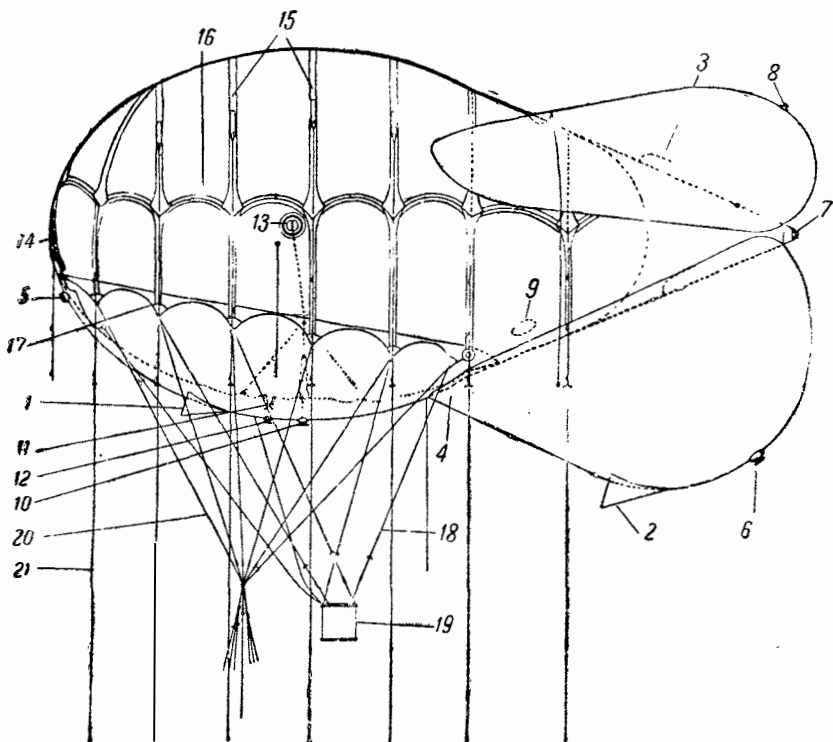
Оболочка аэростата раскроена из продольных меридианальных полотнищ и изготовлена из трехслойной прорезиненной материи с одним диагональным слоем. Уток параллельных слоев направлен поперек оболочки. По поперечным сечениям в плоскостях узлов катенарного пояса оболочка усилена наклеенными на нее лентами.

Баллонет расположен почти по всей длине оболочки, но ближе к носовой части. Питание баллонета производится отдельным улавливателем, укрепленным на оболочке.

Кормовой конус шит из двухслойной материи и соединен отверстиями с тремя рулевыми мешками, изолированными от баллонета и сшитыми из двухслойной материи. При подъеме аэростата в конусе и рулевых мешках поддерживается давление с помощью улавливателя, установленного на нижнем рулевом мешке. Общий объем конуса и рулевых мешков достигает 200 м³. Перед подъемом их наполняют воздухом от вентилятора.

Подвесной пояс состоит из ряда катенарий из стального троса диаметром 5 мм. Разрывное полотнище треугольной формы помещается

в носовой части оболочки, несколько ниже носовой точки. Вскрытие разрывного производится наружу оболочки. Клапан двухстворчатого типа сделан целиком из дерева и закрывается резиновыми тяжами. Для автоматического управления клапан соединен с поверхностью баллонета системой тяг, аналогично системе, принятой в аэростатах



Фиг. 76. Привязной аэростат типа АР:

1 — улавливатель баллонета, 2 — улавливатель рулевых мешков, 3 — выпуск воздуха в верхний мешок, 4 — соединение мешка и баллонета, 5 — выпуск воздуха из баллонета, 6 — аппендикс рулевого мешка, 7 — аппендикс конуса, 8 — аппендикс верхнего мешка, 9 — газовый аппендикс, 10 — шланг для регулировки системы расчалки клапана, 11 — аппендикс в потолке баллонета, 12 — соответствующий аппендикс в оболочке, 13 — газовый клапан, 14 — разрывное полотнище, 15 — ленты усиления, 16 — катенарии бивачного пояса, 17 — катенарии основного пояса подвески, 18 — стропы подвески корзины, 19 — корзина, 20 — стропы привязного троса, 21 — поясные веревки.

Како. Веревка ручного управления клапаном проходит снаружи оболочки.

Стропы подвески диаметром 12 мм изготовлены из итальянской пеньки с временным сопротивлением в 1200 кг. Стропы подвески корзины (4 пары) непосредственно соединяются с корзиной без каких-либо трапеций и т. д. Стропы привязного троса (6 пар) сходятся в одной точке на карабин. Вся система такелаж значительно проще, чем в аэростатах типа Како, дает меньшее лобовое сопротивление и значительно более удобна в эксплуатации.

Крепление бивачных веревок производится к узлам катенарного пояса, расположенного выше основного подвешного пояса. Поясные веревки присоединены к кольцу карабина привязного троса. Характеристики аэростатов Аворио-Прассоне даются в табл. VII.

Таблица VII

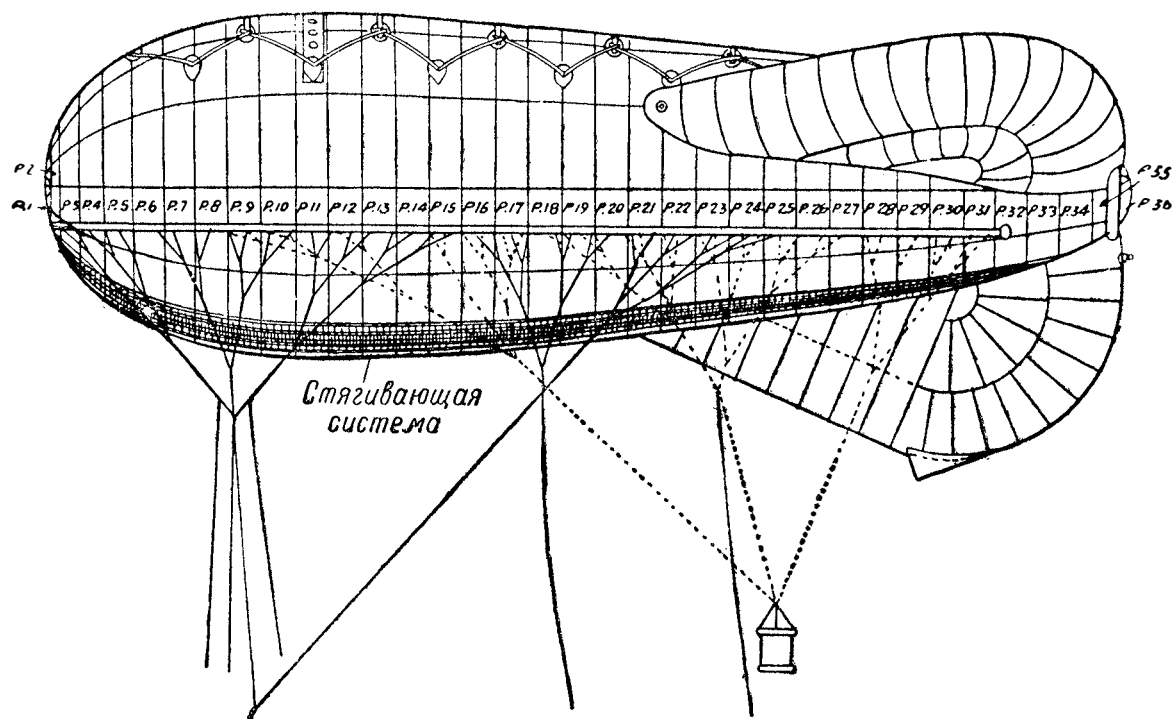
Объем аэростата	м ³	763	800	900	1050	1100
Диаметр миделя	м	10,26	10,26	10,66	11,45	11,45
Длина оболочки (с конусом)	м	14,20	16,22	16,78	15,35	18,00
Полный вес оболочки с катенариями, усилениями и т. д.	кг	310,0	320,0	340,0	371,0	390,0
Вес бивачных веревок	кг	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
Такелаж привязного троса с деталями	кг	18,0	18,0	19,0	21,0	21,0
Такелаж корзины	кг	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Хлопчатобумажные поясные	кг	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Газовый клапан	кг	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Корзина	кг	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0
Полный вес конструкции	кг	415,0	425,0	446,0	489,0	508,0
Полная подъемная сила (0°С, 760 мм)	кг	900,0	945,0	1065,0	1240,0	1300,0
Свободная подъемная сила (0°С, 760 мм)	кг	485,0	520,0	619,0	751,0	792,0
Статический потолок (без наблюдателя)	м	—	1350	1650	—	2175

Аэростат Како типа *RD* с переменным объемом (фиг. 77) был пере-конструирован из аэростата типа *R* путем замены баллонета стягивающей системой, состоящей из двух продольных складок, идущих симметрично вдоль нижней части оболочки от носа до кормы. Газовый клапан с автоматическим приводом от баллонета был заменен непосредственно действующим автоматическим клапаном. Остальные детали аэростата остались без изменения. Применение этого аэростата показало его хорошие полетные качества, возможность значительного повышения скорости выбирания, но наряду с этим большую, чем для обычных аэростатов, сложность эксплуатации. Нормальная регулировка системы должна давать следующее:

Сверхдавление вниз
аэростата

- | | |
|------------------------|--|
| 13 мм вод. ст. | резинки начинают растягиваться |
| 17 " " " | резинки полностью растянуты (складки вытянулись) |
| 35 " " " | клапан автоматически открывается |

Стягивающая система получила большое распространение в привязных аэростатах заграждения. Эти аэростаты создают воздушные завесы, в которых должны запутываться неприятельские самолеты. Аэростаты заграждения поднимаются группами и соединяются между собой поперечными тросами, к которым через определенные интервалы подвешиваются вертикальные тросы. Эти вертикальные тросы и образуют сеть, преграждающую путь неприятельским самолетам. В связи с большой боевой высотой современных бомбовозов высота подъема заградительных аэростатов должна достигать 4500—5000 м. Необходи-



Фиг. 77. Привязной аэростат с переменным объемом типа RD.

димось большого потолка, значительной скорости выбирания и небольшого объема позволяет с большой выгодой применять здесь аэростаты с переменным объемом.

Форма оболочки аэростата заграждения, а также форма и расположение рулевых мешков аналогичны форме оболочки и рулевых мешков описанных выше привязных аэростатов.

Материя для оболочек применяется легкая двухслойная с нормальной газопроницаемостью. Для французских аэростатов заграждения типа N применялась материя следующей конструкции:

Резина внешнего слоя с окраской	20 г/м ²
Диагональный перкаль окрашенный	60 г/м ²
Резина	100 г/м ²
Параллельный перкаль неокрашенный	60 г/м ²
Полный вес	240 г/м ²

Временное сопротивление по параллельному слою 600 кг/м, газопроницаемость 10 л/м² в сутки.

Стягивающая система состоит из двух складок, идущих вдоль всей оболочки ниже линии крепления привязного такелажа. Для пополнения оболочки газом служит апендикс, расположенный обычно внизу носовой части оболочки. Газовый клапан и разрывное полотнище на заградительных аэростатах, поднимающихся без людей, не ставятся.

Рулевые мешки изготавливаются обычно из легкой однослойной материи с внутренними матерчатыми перегородками. Питание рулевых мешков производится от улавливателя на нижнем стабилизаторе, верхние стабилизаторы питаются воздухом от нижнего через шланги, наклеенные на оболочку.

Привязной такелаж крепится или к поясу из плотной ткани с гусиными лапками, или к легким лапам той или другой конструкции. Спуски и стропы привязного такелажа делаются из веревок и сходятся на карабине, который иногда заменяется веревочной петлей или костыльком. Для закрепления на бивачной стоянке и для маневрирования с аэростатом на земле он снабжается бивачными веревками. Крепление бивачных веревок производится или с помощью бивачного пояса из льняной тесьмы шириной 30—50 мм, или на лапах той или иной конструкции. Для повышения устойчивости аэростата при сильном ветре в кормовой части оболочки укрепляется лапа к которой подвешивается мешок с балластом. Количество балласта определяется расчетом, проверяется экспериментально и изменяется в зависимости от силы ветра.

Для получения нужного потолка вся конструкция аэростата должна быть возможно легкой. Для повышения общего потолка иногда применяется подъем аэростатов по системе тандем: верхний аэростат поднимает сеть и вес верхней части привязного троса, нижний аэростат, привязанный к тому же тросу, несет вес его нижней части.

Основные характеристики некоторых типов привязных аэростатов заграждения приведены в табл. VIII.

Привязные аэростаты со стягивающей системой объемом 20—80 м³ с большим успехом применяются для подъемов метеорологических самопишущих приборов. При удачно выбранной форме оболочки и ру-

Таблица VIII

Тип аэростата	Объем, м ³		Диаметр миделя на потолке, м	Длина, м	Потолок, м	Расстояние между кромками складок, м	Раскрытие складок, м
	на земле	на потолке					
N	168	216	5,2	14,80	2500	0,40	0,95
NN	172	265	5,73	14,80	4500	0,55	1,70
U	120	137	4,58	13,30	2100	0,85	1,02
UU	85	137	4,58	13,30	4725	0,40	1,48
V	180	230	5,08	17,30	2500	0,40	0,90
N (в комбинации тандем с тростом 4 мм)	176	216	5,20	14,80	2000	0,59	0,76
V (в комбинации тандем с тростом 4 мм)	188	230	5,08	17,30	2000	0,58	0,72

левых мешков их потолок благодаря змейковому действию может достигать 3500—4000 м. При малом диаметре оболочки этих аэростатов сверхдавление в них можно доводить до весьма значительных величин.

Раздел V

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТЕРЧАТЫХ ЧАСТЕЙ МЯГКИХ ДИРИЖАБЛЕЙ

§ 1. РАСЧЕТ И РАСКРОЙ ОБОЛОЧКИ

Мягкие дирижабли отличаются от других систем своей относительной простотой в производстве и эксплуатации и дешевизной. Кроме того, дирижабли этого типа могут иметь минимальную кубатуру. Практически применяемые в настоящее время мягкие дирижабли (моторизованные привязные аэростаты) имеют объем 800—1000 м³.

Недостатками системы мягких дирижаблей являются зависимость формы от сверхдавления в оболочке, большая строительная высота, значительное лобовое сопротивление подвески гондолы и быстрое падение весовой отдачи для кубатур выше определенного предела.

В весовом балансе дирижабля мягкой системы матерчатые конструкции занимают главное место, поэтому конструктор, желающий улучшить существующие типы дирижаблей, должен начинать свою работу с усовершенствования оболочки и прочих матерчатых конструкций.

Выбор формы и основных размеров оболочки мягкого дирижабля относится к общему проектированию и зависит от общей схемы судна. Но при выборе формы и размеров необходимо учитывать все специфические условия работы оболочки мягкого дирижабля. Оболочка в этом случае, помимо газоместилца, является также и корпусом судна, несущим все внешние нагрузки. Чтобы избежать искажения формы, ее выбор и размещение на оболочке различных агрегатов должны производиться с учетом всех особенностей деформации матерчатых оболочек.

Для уменьшения величин изгибающих моментов, оболочки мягких дирижаблей имеют обычно малое относительное удлинение: от 3 до 4—5, максимум до 5,5. Правда, такое уменьшение удлинения вызывает при заданном объеме увеличение диаметра миделя и, следовательно, натяжения материи от сверхдавления газа. Так как мягкие дирижабли вследствие большого лобового сопротивления подвески не имеют большой скорости, то для улучшения весовых характеристик судна имеет смысл выбирать оболочку менее обтекаемой формы, но с большим коэффициентом полноты. Особое значение имеет полнота кормовой части в районе расположения оперения. Недостаток подъемной силы в отсеке, на котором расположено оперение, может вызвать отвисание кормы оболочки.

Выбрав уравнение меридианального обвода и удлинение и определив основные размеры, можно перейти к проектированию оболочки. Так как вес оболочки в мягких дирижаблях довольно значителен (до 30% от полной подъемной силы), то расчет необходимо начинать с предварительного подбора материи оболочки. Для этого можно применять формулу (112). Необходимо только задаться сверхдавлением газа p_0 внизу миделя.

На основании данных построенных дирижаблей нормальное полетное сверхдавление внизу миделя p_0 может быть принято равным 25 кг/м². Подставляя это значение p_0 в формулу (112), получаем:

$$T_m = (p_0 + 2r_m)r_m = (25 + 2r_m)r_m. \quad (121)$$

Приняв запас прочности равным 6, получим необходимое временное сопротивление материи:

$$R = 6(25 + 2r_m)r_m. \quad (122)$$

Определив необходимое временное сопротивление, можно подобрать тип материи. Для внешних оболочек обязательно должна применяться диагонально дублированная материя. Это необходимо для предохранения оболочки от раздираия и для того, чтобы материя могла воспринимать без больших деформаций касательные напряжения, которые в оболочках мягких дирижаблей могут достигать значительных величин.

Для оболочек объемом до 3000—4000 м³ можно применять двухслойную материю. При объемах свыше 4000 м³ лучше применять трехслойную материю с одним диагональным и двумя параллельными слоями. Трехслойная материя имеет меньшие деформации и больший срок эксплуатационной службы, что особенно важно для мягких дирижаблей, летающих на больших сверхдавлениях.

Подобрав материю, можно провести подготовительные работы для расчета оболочки как корпуса дирижабля на изгиб. Разбиваем оболочку по оси на равные интервалы. Обычно для мягких дирижаблей длиной от 40 до 65 м эти интервалы принимаются равными 1 м. По уравнению меридианального обвода определяем для границ каждого интервала радиусы кругового поперечного сечения. Помимо величины радиусов, полезно также одновременно определить так назы-

ваемый коэффициент подобия сечений: $k_i = \frac{r_i}{r_m}$, т. е. отношение радиуса данного сечения к радиусу миделевого сечения.

Для ряда последующих вычислений понадобятся также величины квадратов радиусов и квадратов коэффициентов подобия по сечениям. Все эти величины удобно записывать в таблицу показанной ниже формы (табл. IX).

Такая таблица в дальнейшем дополняется строчками, показывающими изменение различных величин по сечениям оболочки. Первым таким дополнением могут быть вычисления раскрыя, проделанные для одного из методов, разобранных в § 3 раздела IV.

Таблица IX

Наименование	Размер- ность	Номера сечений				Сумма
		0	1	2		
x от носа	M					—
r_i	M					—
r_i^2	M^2					—
k_i	—					Σk_i
k_i^2	—					Σk_i^2
$u_{\text{отсека}}$	M^3					$\Sigma u = U_r$
$x'_{\text{ц. л.}}$	M					—
$x'_{\text{ц. т.}}$	M					—
$x_i u_i$	M^4					$\Sigma x_i u_i$
.						
.						

Дальше следует определить объем каждого из отсеков, ограниченных двумя соседними поперечными сечениями. Объем крайнего носового отсека обычно определяется как объем шарового сегмента:

$$u_{\text{сегм}} = \frac{\pi}{2} h \left(r_1^2 + \frac{h^2}{3} \right) = 1,571 \left(r_1^2 + \frac{h^2}{3} \right) M^3, \quad (123)$$

где h — расстояние от носа до первого сечения,

r_1 — радиус первого сечения.

Приняв $h = 1$ м, получаем:

$$u_{\text{сегм}} = 1,571 (r_1^2 + 0,333). \quad (124)$$

Объем остальных отсеков с достаточной степенью точности можно определять как объем усеченных конусов:

$$u_{\text{отс}} = \frac{\pi h}{3} (r_i^2 + r_i \cdot r_{i+1} + r_{i+1}^2) M^3, \quad (125)$$

где h — расстояние между сечениями;

r_i и r_{i+1} — радиусы сечений в начале и конце интервала.

Объем последнего отсека определяется обычно как объем конуса:

$$u_k = \frac{\pi h}{3} r_n^2; \quad (126)$$

здесь: h — расстояние от последнего сечения до кормовой точки;

r_n — радиус последнего сечения.

Приняв $h = 1$ м, что, конечно, возможно, если оболочка имеет длину, выраженную целым числом метров, получим:

$$u_k = 1,047 r_n^2. \quad (127)$$

Суммируя последовательно объемы по отсекам, получаем данные для построения так называемой интегральной кривой объемов. Интегральная кривая объемов понадобится для ряда последующих расче-

тов, в частности для определения размеров баллонетов. Сумма объемов всех отсеков дает полный теоретический объем оболочки U_r . При сравнении объема, полученного суммированием объемов отсеков, с объемом, полученным путем аналитического интегрирования, обычно получается некоторое расхождение. Если это расхождение не превышает $\pm 0,01 U_r$, то им можно пренебречь, приняв за окончательное значение объем, полученный суммированием, что более удобно для дальнейших расчетов. Большее расхождение безусловно указывает на ошибку в том или другом подсчете.

Далее следует определить положение центра объема каждого отсека. Применяя прежние обозначения, получаем удаление центра носового отсека от носовой точки:

$$x'_{ц.т.} = \frac{h(h^2 + 4r_1^2)}{2(h^2 + 3r_1^2)} \quad (128)$$

и при $h = 1 м$

$$x'_{ц.т.} = \frac{1 + 4r_1^2}{2 + 6r_1^2} \quad (129)$$

Удаление центра объема какого-либо среднего отсека от ближайшего к носу основания, имеющего радиус r_i , равно:

$$x'_{ц.т.} = \frac{h}{4} \frac{r_i^2 + 2r_i r_{i+1} + 3r_{i+1}^2}{r_i^2 + r_i r_{i+1} + r_{i+1}^2} \quad (130)$$

То же для кормового отсека:

$$x'_{ц.т.} = \frac{1}{4} h. \quad (131)$$

Складывая полученные величины $x'_{ц.т.}$ с абсциссой ближайшего к носу основания отсека, получаем абсциссу центра объема отсека от носа $x_{ц.т.}$. Определив абсциссы $x_{ц.т.}$ и умножив их на соответственные объемы отсеков, получаем моменты объемов отсеков относительно носа. Для определения абсциссы центра объема всей оболочки, или, как иногда ее называют, абсциссы главной строительной вертикали (ГСВ), нужно сумму моментов всех объемов отсеков относительно носа разделить на полный объем оболочки:

$$X_{ГСВ} = \frac{\sum u_i x_i}{U_r}.$$

Для некоторых форм дирижаблей положение центра объема оболочки может быть определено аналитически по уравнению меридианального обвода. При правильных вычислениях разница в абсциссах ГСВ, полученных тем и другим методом, должна быть очень незначительна, но для однообразия всех расчетов величину $X_{ГСВ}$ надо брать по приведенной формуле; аналитически определенная величина является лишь проверочной. Продолжая дальше, определяем поверхность (по отсекам и полную) и центр тяжести поверхности оболочки. Применяя прежние обозначения, имеем:

поверхность носового отсека:

$$S_{\text{снрм}} = \pi(r_1^2 + h^2); \quad (132)$$

поверхность средних отсеков:

$$S_{\text{отс}} = \pi(r_{i+1} + r_i)\sqrt{(r_{i+1} - r_i)^2 + h^2}; \quad (133)$$

поверхность кормового конуса:

$$S_{\text{к}} = \pi r_n \sqrt{r_n^2 + h^2}. \quad (134)$$

Просуммировав поверхности всех отсеков, получаем полную поверхность оболочки $S_{\text{об}}$. Для определения абсциссы центра тяжести оболочки необходимо подсчитать сумму моментов поверхностей отсеков относительно носовой точки. Для практических целей точность получается вполне достаточной, если принять, что абсцисса центра тяжести поверхности равна абсциссе центра объема. Таким образом вычисленные поверхности отсеков достаточно умножить на ранее определенные абсциссы x_i . Центр тяжести всей оболочки определяется по формуле:

$$X_{\text{ог}} = \frac{\sum S_i x_i}{\sum S_i}. \quad (135)$$

Умножая вычисленные объемы отсеков и полный объем оболочки на принятую удельную подъемную силу ϕ кг/м³, получаем подъемную силу отсеков и всей оболочки:

$$f_i = u_i \phi$$

и

$$F = U_{\text{г}} \phi.$$

Умножая вычисленные поверхности отсеков и полную поверхность оболочки на вес в кг/м² выбранной материи, получаем вес оболочки по отсекам и всей оболочки полностью. При этом вес материи надо увеличить на 15% за счет швов:

$$p_i = 1,15 p_{\text{м}} \cdot s_i$$

и

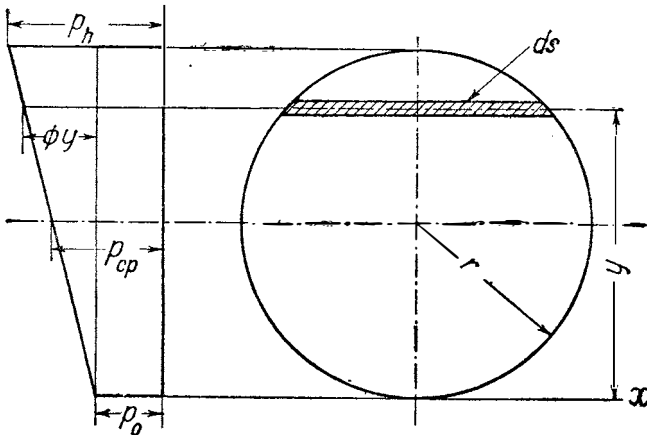
$$P_{\text{об}} = 1,15 p_{\text{м}} S_{\text{об}}.$$

Считая, что на основании выбранной общей схемы и центровки известны веса и положения всех деталей судна на оболочке, а из схемы и расчета подвески известны величины и точки приложения нагрузок от подвески, можно разнести все эти нагрузки по отсекам, на которые была разбита оболочка. Практически удобно для каждой из этих нагрузок (так же как и для всех определенных выше величин) отводить отдельную строчку в общей таблице (см. табл. IX). Просуммировав по вертикальным столбцам все строчки нагрузок, получаем нагрузку, приходящуюся на каждый отсек $p_{\text{от}}$. Вычитая из подъемной силы каждого отсека приходящуюся на него нагрузку, получаем свободную подъемную силу отсека:

$$f'_i = f_i - p_{отс}.$$

Свободная подъемная сила по своему знаку может быть положительной или отрицательной. Само собой очевидно, что для статических режимов полная подъемная сила газа, заключенного в оболочке, должна равняться полной сумме всех весов (мертвых и временных нагрузок). Изменение f'_i по длине оболочки можно изобразить в виде диаграммы. Приняв эту диаграмму за грузовую эпюру, можно, пользуясь методами строительной механики, построить для оболочки, как для балки, эпюры перерезывающих сил и изгибающих моментов.

Для расчета оболочки на статических режимах к этой эпюре моментов должны быть добавлены моменты от горизонтальных составляющих натяжений подвески гондолы и момент от сверхдавления



Фиг. 78. Определение момента от сверхдавления газа.

газа. Определение моментов от горизонтальных составляющих натяжения подвески указано ниже, в параграфе, рассматривающем проектирование подвески гондолы.

Момент от сверхдавления газа определяется следующим методом. Сверхдавление газа, имеющего удельную подъемную силу ϕ кг/м³, изменяется по высоте оболочки по следующему закону:

$$p_h = p_0 + \phi y.$$

Здесь p_0 — давление газа на каком-то начальном уровне и y — превышение рассматриваемой плоскости над этим начальным уровнем. На фиг. 78 изображена цилиндрическая оболочка, имеющая круговое сечение с радиусом r м. Оболочка наполнена газом с удельной подъемной силой ϕ кг/м³, имеющим давление в плоскости нижней точки оболочки, равное p_0 кг/м². Пересечем оболочку какой-либо плоскостью, перпендикулярной к оси оболочки, и определим величину равнодействующей газового сверхдавления, действующего на данное сечение, и изгибающий момент, вызываемый этим сверхдавлением. Сверхдавление будет изменяться по высоте от p_0

до $p_h = p_0 + 2r\phi$. На уровне центра сечения будем иметь некоторое среднее давление:

$$p_{cp} = p_0 + r\phi.$$

Сила P_r газового сверхдавления, действующего на всю площадь поперечного сечения, равна p_{cp} , умноженному на площадь сечения:

$$P_r = \pi r^2 (p_0 + r\phi) = p_0 \pi r^2 + \phi \pi r^3. \quad (136)$$

Давление $p_0 \pi r^2$ распределено равномерно по всей площади поперечного сечения, и его равнодействующая совпадает с центром сечения, создавая только растягивающие усилия. Равнодействующая же сверхдавлений ϕy будет приложена вне центра и тем самым вызовет некоторый изгибающий момент. Момент сверхдавления на элементарную полоску ds (фиг. 78) равен:

$$\phi y (y - r) ds. \quad (137)$$

Момент от сверхдавления, действующего на всю площадь поперечного сечения, выразится интегралом:

$$M_r = \int_{y=0}^{y=2r} \phi y (y - r) ds = \phi \int_{y=0}^{y=2r} y^2 ds - \phi r \int_{y=0}^{y=2r} y ds. \quad (138)$$

Интеграл $\int_{y=0}^{y=2r} y^2 ds$ есть момент инерции площади сечения относительно оси $x - x$. Для кругового сечения этот момент равен:

$$\frac{\pi r^4}{4} + \pi r^2 \cdot r^2 = \frac{5}{4} \pi r^4. \quad (139)$$

Второй интеграл дает статический момент площади сечения относительно той же оси; он равен:

$$\pi \cdot r^2 \cdot r = \pi r^3. \quad (140)$$

Подставляя значения (139) и (140) в выражение (138), получаем величину изгибающего момента от сверхдавления газа:

$$M_r = \phi \frac{5}{4} \pi r^4 - \phi \pi r^3 = \frac{\pi}{4} \phi r^4. \quad (141)$$

Подставляя в формулу (141) значение r_i для каждого сечения, получаем моменты от сверхдавления газа по сечениям. Складывая алгебраически момент от сверхдавления газа и момент от горизонтальных составляющих подвески с моментом от статических нагрузок, получаем полные изгибающие моменты, действующие по сечениям оболочки, для статических случаев. Для динамических режимов к соответствующим моментам от статических сил, сверхдавления газа и осевых составляющих подвески добавляются моменты от динамических сил, полученных для данного режима.

Расчет оболочки на изгиб имеет две цели: 1) определить необходимые сверхдавления в оболочке и 2) по изгибающим моментам и вычисленному сверхдавлению определить напряжения в различных частях оболочки.

Для оболочек мягких дирижаблей существуют три следующих характеристичных сверхдавления: 1) минимальное, при котором в оболочке возникают складки; 2) нормальное полетное, гарантирующее оболочку от возникновения складок при наиболее тяжелом динамическом случае, и 3) максимальное, при котором происходит разрыв оболочки.

Величины максимального сверхдавления характеризуют степень правильности выбора схемы дирижабля. Нормальное полетное сверхдавление указывается конструктором пилоту дирижабля как сверхдавление, не перегружающее оболочку и вместе с тем гарантирующее ее от складывания при наиболее тяжелых условиях полета. Максимальное сверхдавление должно быть также известно пилоту дирижабля на случай вертикальных бросков, вызывающих повышение давления в оболочке.

В соответствии с этим минимальное сверхдавление определяется для наиболее тяжелого статического режима, нормальное — для наиболее тяжелого динамического режима, и, наконец, для определения разрушающего давления оболочка рассчитывается только на сверхдавление газа. В последнем случае, очевидно, решающими будут поперечные натяжения.

Как известно, материя не может сопротивляться сжимающим напряжениям. Чтобы материя оболочки могла сопротивляться возникающим при изгибе напряжениям сжатия, ей нужно дать предварительно растягивающие напряжения, равные возможным напряжениям сжатия или большие их. Эти напряжения растяжения вызываются сверхдавлением заключенного в оболочке газа.

В первом приближении минимальное сверхдавление может быть определено следующим методом. Представим себе оболочку, сделанную из изотропного материала, подчиняющегося закону Гука. Поперечные сечения этой оболочки будем считать круговыми и остающимися плоскими при изгибе.

Тогда, зная изгибающие моменты M в каждом сечении, мы можем определить и наибольшие напряжения в этих сечениях по формуле:

$$\sigma_{\max} = \frac{M \cdot r}{I}, \quad (142)$$

где r — радиус сечения оболочки;

I — момент инерции сечения относительно нейтральной оси.

Для тела вращения момент инерции периметра сечения равен:

$$I = \pi r^3,$$

следовательно:

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{M}{\pi r^2}. \quad (143)$$

При изгибе в вертикальной плоскости максимальные напряжения будут возникать на самом верхнем и самом нижнем меридианах обо-

лочки, причем знак напряжения будет зависеть от знака изгибающего момента. Определим теперь необходимое сверхдавление, при котором напряжение растяжения будет равно наибольшему напряжению сжатия.

В любом сечении продольные растягивающие напряжения от внутреннего сверхдавления будут выражаться следующей формулой:

$$\sigma'_{\text{рас}} = p' \pi r^2 : 2\pi r = \frac{1}{2} r p', \quad (144)$$

где r — радиус сечения;

p' — сверхдавление в центре этого сечения.

Изменение сверхдавления по высоте данного сечения нами уже учтено введением в суммарный изгибающий момент M величины момента от сверхдавления газа.

Приравняв σ_{max} по выражению (143), $\sigma'_{\text{рас}}$ по формуле (144), определяем p' :

$$p' = \frac{2M}{\pi r^3}. \quad (145)$$

Такой расчет производим для каждого сечения оболочки.

Максимальное значение p' и является тем минимальным сверхдавлением, которое необходимо держать в оболочке при данном режиме. Подставляя соответствующее ему сверхдавление p_0 (для наиболее тяжелого режима) в выражение (121), проверяем правильность выбора прочности материи.

Зная сверхдавление p , по формулам (8) и (3) можно определить продольные и поперечные напряжения σ_1 и σ_2 , считая оболочку наполненной воздухом под давлением p . Добавив к σ_2 величину σ_{max} по формуле (143), получаем окончательные продольные напряжения оболочки. Далее можем написать уравнение упругой линии оболочки:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI}. \quad (146)$$

Величину модуля упругости E , приняв его постоянным по периметру каждого сечения, определяем для ряда сечений из нормальных характеристик выбранной материи по напряжениям σ_1 и σ_2 , имеющих место в оболочке, наполненной воздухом до сверхдавления p . Интегрируя дважды уравнение (146), находим уравнение изогнутой оси оболочки от изгиба. Дальнейшие подробности этого вопроса изложены в следующем параграфе.

Пренебрегать действием перерезывающих сил при изгибе можно лишь для балок, имеющих высоту в 10 и больше раз меньшую длины балки. Оболочки же мягких дирижаблей имеют удлинение порядка 3,5—4,5, максимум до 5,5. Поэтому необходимо также определить касательные напряжения, возникающие в оболочке, и вызванные ими деформации.

Выделим на фиг. 79 некоторую часть нашей оболочки и напомним условие равновесия между нормальными напряжениями от изгиба и касательными напряжениями, распределенными по нижним сторонам выделенной части.

Равновесие напряжений выражается уравнением:

$$2\tau dl = \int_y^r d\sigma \cdot ds; \quad (147)$$

$$d\sigma = d\left(\frac{y \cdot M}{I}\right) = \frac{y}{I} \cdot dM.$$

Заменяя здесь dM через $Q dl$, где Q — перерезывающая сила, действующая в данном сечении, получим:

$$d\sigma = \frac{y}{I} Q dl.$$

Вводя полученное значение $d\sigma$ в выражение (147), будем иметь:

$$2\tau dl = \int_y^r \frac{y}{I} Q dl \cdot ds,$$

откуда:

$$\tau = \frac{Q}{2I} \int_y^r y ds = \frac{Q}{2I} \cdot S, \quad (148)$$

где S — статический момент выделенной части сечения оболочки относительно нейтральной оси. Для кругового сечения статический момент сечения может быть определен следующим образом (фиг. 80):

$$S = 2 \int_y^r y \cdot ds = 2r \int_y^r \frac{y}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy = 2r \sqrt{r^2 - y^2} = 2r^2 \sin \alpha. \quad (149)$$

Отсюда

$$\tau = \frac{Q}{2\pi r^3} \cdot 2r^2 \sin \alpha = \frac{Q}{\pi r} \cdot \sin \alpha. \quad (150)$$

Следовательно, касательные напряжения достигают своего максимума при $\alpha = 90^\circ$:

$$\tau_{\max} = \frac{Q}{\pi r}. \quad (151)$$

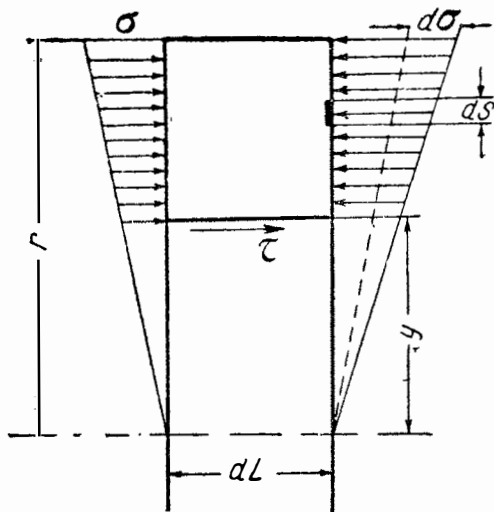
Из курса «Сопротивление материалов» известно, что угол сдвига

$$\gamma = \frac{\tau}{G},$$

где G — модуль упругости при сдвиге. При $\tau_{\max}$ приведенное выражение дает:

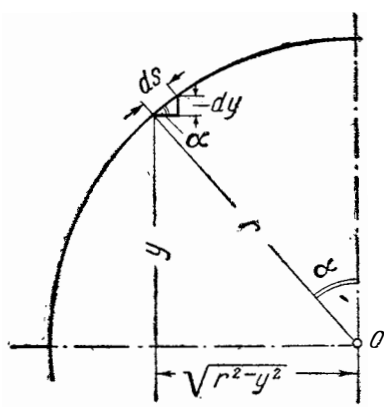
$$\gamma = \frac{Q}{G\pi r}. \quad (152)$$

Определяя величины G для ряда сечений из касательной характе-



Фиг. 79. Касательные напряжения в оболочке.

ристики, находим по формуле (152) углы сдвига γ в соответственных сечениях. Изображая значения γ по длине судна в виде ординат кривой, мы однократным интегрированием этой кривой определяем форму упругой линии при сдвиге.

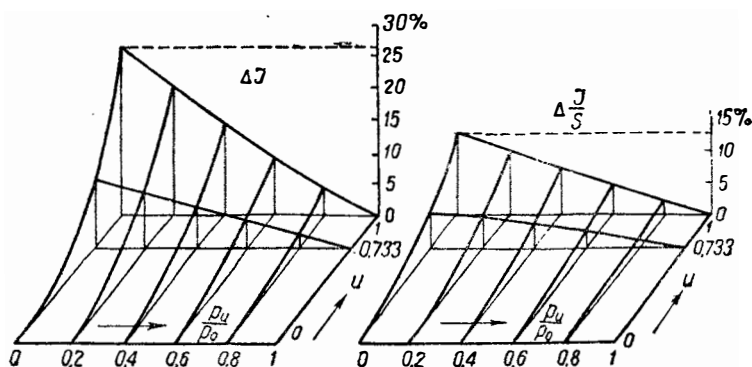


Фиг. 80. К определению S .

Алгебраическая сумма величин деформаций, вызванных изгибом и сдвигом в каждом сечении, даст полную величину деформации от действия изгибающего момента и перерезывающей силы. По этим полным деформациям может быть получена искривленная ось корабля. Более подробно этот вопрос освещен в следующем параграфе.

В предыдущих выводах мы принимали поперечные сечения оболочки за круговые. На самом деле, как уже говорилось выше, эти сечения в зависимости от величин сверхдавления, веса конструкции и нагрузок изменяют свою форму.

Знание действительных форм поперечных сечений нужно для решения многих конструктивных вопросов, например вопроса о форме диафрагм. Кроме того, знать действительные формы поперечных сечений нужно и для более точного определения деформаций оболочки под действием изгибающих моментов и перерезывающих сил. В самом деле, изменение форм поперечных сечений изменяет величины моментов инерции и статических моментов, а следовательно и величины деформаций от изгиба и сдвига.



Фиг. 81. Изменения I и S .

Для определения форм поперечных сечений, помимо описанного выше метода Циолковского, предлагались и другие аналитические, графические и смешанные методы. Все эти методы базируются на тех или других допущениях и требуют большой работы, не гарантируя вместе с тем точности получаемых результатов. Ввиду этого в настоя-

щее время у нас принят итальянский метод, заключающийся в построении формы поперечного сечения с помощью гибкой нити, загружаемой соответственными нагрузками. Описание этого метода, равно как и общий обзор других предлагавшихся методов, дается в разделе VI. Здесь мы отметим лишь следующее. Определение моментов инерции и статических моментов построенных так или иначе поперечных сечений удобнее всего производить графическими методами. Для ускорения дела в первом приближении можно пользоваться диаграммами фиг. 81, дающими изменения I и I/S в процентах от значений тех же величин для кругового сечения. Эти диаграммы заимствованы нами из книги Гаас и Дитциуса. Параметрами диаграмм являются отношение p_u/p_0 и коэффициент подвески u .

Здесь под p_0 подразумевается сверхдавление в высшей, p_u — в низшей точках данного поперечного сечения. Коэффициентом подвески u называют отношение длины половины периметра сечения к длине дуги сечения от высшей точки до точки крепления подвески плюс длина касательной к сечению, проведенной из этой же точки до пересечения с вертикальной осью симметрии.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ОБОЛОЧКИ

Систематизируя все изложенное в предыдущем параграфе в той последовательности, которая принята при расчете оболочки мягкого дирижабля, мы будем иметь следующий порядок этого расчета.

Прежде всего определим напряжения и деформации оболочки от сверхдавления газа без учета изгибающих моментов и перерезывающих сил.

За нормальное полетное сверхдавление для мягких дирижаблей обычного типа можно принимать 25—30 мм вод. ст. по низу миделя.

Для первой прикидки, служащей для выбора типа материи, можно пользоваться формулами:

$$\sigma_1 = (p_0 + r\phi) r \text{ кг/м};$$

$$\sigma_2 = (p_0 + r\phi) \frac{r}{2} \text{ кг/м}.$$

Для определения деформаций материи можно применять более точные значения напряжений по формулам (4) и (3):

$$\sigma_1 = 2\sigma_2 \left(1 - \frac{r}{2\rho_2 \cos \delta} \right);$$

$$\sigma_2 = \frac{(p_0' + r\phi) r}{2 \cos \delta}.$$

Здесь σ_1 — поперечные натяжения в оболочке;

σ_2 — продольные натяжения в оболочке;

p_0' — сверхдавление по низу сечения;

r — радиус сечения;

ϕ — удельная подъемная сила газа;

δ — угол между осью оболочки и касательной к меридианальному обводу в рассматриваемом поперечном сечении;

ρ_2 — радиус кривизны меридианального обвода.

Член $r\phi$ введен в выражение σ_2 для перехода от сверхдавления по низу миделя к сверхдавлению на оси оболочки, принимаемому за сверхдавление воздуха в оболочке.

Для определения деформаций, напряжения должны быть определены в ряде сечений оболочки, желательно через равные интервалы.

По нормальной характеристике выбранной материи определяем для принятого ее расположения (основа вдоль или поперек оси оболочки) относительные увеличения диаметров ϵ_1 и укорочения ϵ_2 по отдельным отсекам, принимая их за цилиндрические. Затем вычерчиваем диаграммы деформаций ϵ_1 и ϵ_2 по длине оболочки, и в случае выпадения отдельных точек выравниваем на чертеже эти кривые, давая им плавные очертания.

Найдя таким образом в первом приближении ϵ_1 и ϵ_2 для отдельных отсеков, определяем новые значения нормальных напряжений по ранее выведенным формулам (14) и (15):

$$\sigma_1' = \epsilon_1 (1 + \epsilon_1) (1 - \epsilon_2);$$

$$\sigma_2' = \sigma_2 (1 + \epsilon_1)^2.$$

При пользовании этими формулами значения ϵ_1 и ϵ_2 берутся с построенных диаграмм.

По значениям σ_1' и σ_2' и нормальным характеристикам материи определяем во втором приближении увеличения диаметров и укорочения отсеков оболочки. По найденным отсюда площадям поперечных сечений и длинам отсеков определяем аналитически или графически объем деформированной оболочки и положение центра объема.

Таким образом с точностью, достаточной для практических целей, получаем деформации и натяжения для случая, когда оболочка наполнена воздухом.

Вторая часть работы состоит в определении деформаций и напряжений оболочки, наполненной подъемным газом, при действии на нее внешних сил.

Расчетные случаи и комбинации действующих в каждом случае внешних нагрузок устанавливаются нормами, принятыми для проектирования данного судна. По нашему мнению для мягких дирижаблей обычного типа могут быть приняты следующие расчетные случаи:

1. Статические случаи:

а) судно полностью выполнено газом и уравновешено на уровне моря;

б) судно полностью выполнено газом и уравновешено на статическом потолке;

в) судно имеет полностью выполненные баллонеты и уравновешено на уровне моря.

2. Динамические случаи: те же три случая нагрузки и выполнения оболочки, но при полете с максимальной мощностью моторов на динамическом потолке, отвечающем данной нагрузке.

Режимы выполнения оболочки охватывают собой наиболее крайние случаи: оболочка полностью наполнена газом с максимальной подъемной силой, оболочка полностью наполнена газом с минималь-

ной подъемной силой и, наконец, подъемная сила по длине оболочки изменяется от полностью выполненных баллонетов.

Построение эпюр изгибающих моментов и перерезывающих сил, отвечающих этим расчетным случаям, относится к общим расчетам дирижабля, так что здесь мы не будем касаться **этого** вопроса и предположим эпюры заданными.

Определение деформаций начинается с определения формы поперечных сечений в части оболочки, захватываемой подвеской. В этом случае сверхдавление может приниматься таким же, что и выше. Само определение формы поперечного сечения производится методом веревочного многоугольника, описанным в разделе VI. Определение формы поперечных сечений необходимо производить сейчас же после выбора схемы подвески, чтобы в случае сильной деформации сечений изменить эту схему.

Для каждого расчетного случая надо знать необходимое минимальное сверхдавление, при котором σ_z нигде не будет равно отрицательной величине. В эксплуатационных характеристиках судна необходимо указывать минимальные допустимые сверхдавления, которые на данном режиме гарантируют оболочку от образования складок. Наибольшее из сверхдавлений, необходимых на статических режимах, является тем минимальным сверхдавлением, которое командир корабля должен сохранять всеми имеющимися у него средствами при полете или спуске с остановленными моторами. Наибольшее из всех сверхдавлений, необходимых на динамических режимах (с добавкой 3—5 мм вод. ст.), является тем нормальным полетным сверхдавлением, которое командир корабля обязан поддерживать в полете, хотя бы и не на максимальной мощности.

Определение минимального сверхдавления можно производить упрощенным методом, считая сечения оболочки круговыми. Предположим, что задана эпюра изменения полных изгибающих моментов по длине судна. Тогда мы можем написать:

$$\frac{\pi r^3 (p_0' + r\phi)}{2\pi r} = \frac{M}{W}, \quad (153)$$

где M — изгибающий момент в данном сечении;

W — момент сопротивления периметра сечения.

Для кругового сечения момент сопротивления равняется πr^2 ; следовательно

$$\frac{r (p_0' + r\phi)}{2} = + \frac{M}{\pi r^2}$$

или

$$p_0' = \frac{2M}{\pi r^3} - r\phi. \quad (154)$$

Но сверхдавление по низу данного сечения равно:

$$p_0' = p_0 + (r_m - r)\phi.$$

Поэтому формула (154) примет вид:

$$p_0 = \frac{2M}{\pi r^3} - r_m\phi, \quad (155)$$

где r_m — радиус мидельового сечения;

p_0 — сверхдавление по низу миделя.

Производя последовательно определения p_0 , требующегося для различных сечений, находим максимальное значение p_0 , являющееся минимальным сверхдавлением для данного режима.

Определив таким образом расчетные сверхдавления для выбранных режимов, можем построить формы поперечных сечений оболочки при этих давлениях. При этом построении определяем в каждом сечении поперечные напряжения σ_1 и строим диаграмму, показывающую изменение σ_1 по длине корабля. Так же строим диаграмму изменения продольного напряжения оболочки σ_2' по длине судна. Для определения величины σ_2' в каждом сечении пользуемся формулой:

$$\sigma_2' = \sigma_2 (1 + \epsilon_1)^2,$$

т. е. учитываем напряжения, возникающие только от осевого сверхдавления газа. Учет нормальных напряжений от изгибающих моментов дал бы изменение продольных напряжений по каждому поперечному сечению, что значительно усложнило бы дальнейший расчет. Здесь надо отметить, что принимаемое упрощение мало сказывается на конечных результатах.

Имея диаграммы значений σ_1 и σ_2 , определяем по нормальным характеристикам материи модуль упругости E для каждого поперечного сечения.

По построенным поперечным сечениям определяем их моменты инерции I . Для оболочек, имеющих большое число продольных швов, например раскроенных из продольных полотнищ, в значения I надо вводить поправки на усиление поперечных сечений этими швами.

Имея в каждом сечении изгибающий момент M , модуль упругости E и момент инерции I , строим кривую $\frac{M}{EI}$. Двукратным интегрированием этой кривой получаем последовательно кривую тангенсов углов наклонов упругой линии оси оболочки и саму упругую линию.

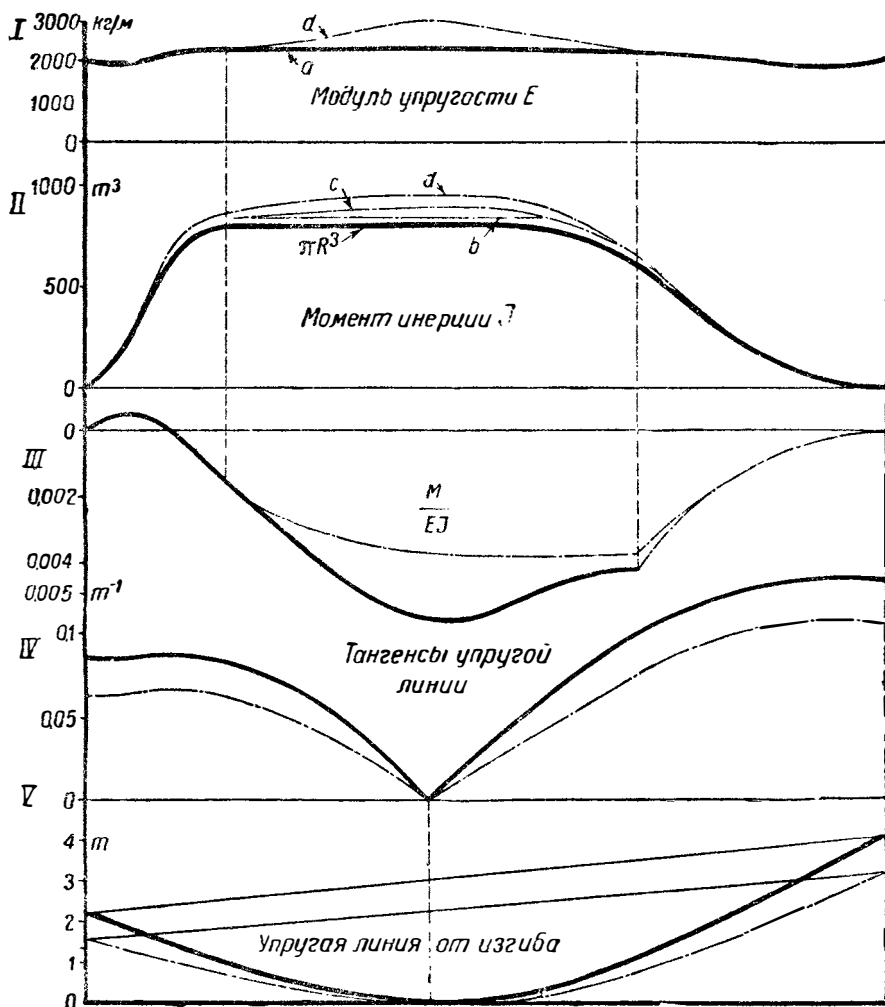
Для менее точных расчетов можно считать все сечения круговыми. В этом случае момент инерции I периметра сечения равен πr^3 и кривая $\frac{M}{EI}$ заменяется кривой $\frac{M}{\pi r^3 E}$.

При сверхдавлении по низу миделя 30—35 мм вод. ст., при небольших диаметрах оболочки и при достаточно низко опущенной гондоле (малое сжатие оболочки) это допущение незначительно сказывается на окончательных результатах. При сильно искаженных сечениях (малое сверхдавление, сильное стягивание подвеской) ошибка в величине I при принятии сечений круговыми может достигать до 25%.

Прогибы оболочки, получаемые описанным способом, не могут рассматриваться как абсолютно точные. Они дают лишь возможность судить о характере деформаций оболочки и сравнивать величины прогибов в различных сечениях оболочки. Кроме того, они позволяют конструктору сравнить между собой при проектировании хотя бы различные варианты подвески.

Описанные выше построения показаны на фиг. 82. Верхняя диаграмма этой фигуры показывает значения величин модуля упругости

E материи по длине оболочки, причем кривая d дана для напряжений, получаемых при учете изменения форм поперечных сечений оболочки, а кривая a — без этого учета. Следующая диаграмма дает значения



Фиг. 82. Упругая линия оболочки от изгиба.

моментов инерции поперечных сечений оболочки. На этой диаграмме кривые πR^3 дают значения моментов инерции теоретических круговых сечений. Кривая b построена с учетом влияния продольных швов (5%), кривая c — с учетом изменения периметра сечений от деформации материи, и кривая d — с учетом изменения форм поперечных сечений при сверхдавлении на оси в 30 мм вод. ст.

Следующая диаграмма дает значения отношений $\frac{M}{EI}$ по длине оболочки. Последние две диаграммы показывают изменение тангенсов упругой линии и саму упругую линию.

В трех последних диаграммах пунктиром показаны кривые, относящиеся к деформированным сечениям, а сплошными линиями — относящиеся к круговым теоретическим сечениям.

Определив деформации от изгиба, переходим к определению деформаций от сдвига.

По определенным выше напряжениям $\tau_{\max}$ и касательной характеристике материи определяем по сечениям модуль сдвига G . Так же как и для изгиба, модуль сдвига может определяться по первоначальным или уточненным значениям напряжений в зависимости от того, как это принято в данном расчете. Затем по сечениям определяют отношение $\frac{S_{\max}}{I}$. Для круговых сечений это отношение равно $\frac{2}{\pi r}$. Получив по сечениям значения $\frac{S_{\max}}{I}$ и G , определяем углы сдвига γ по формуле (31):

$$\gamma = \frac{Q}{G} \cdot \frac{S_{\max}}{2I} = \frac{Q}{G\pi r}$$

и строим кривую значений γ по длине судна.

Интегрируя эту кривую, получаем форму упругой линии при сдвиге.

Последовательность определения деформаций оболочки от сдвига показана на фиг. 83. Размеры оболочки и ее нагрузка взяты теми же, что и для случая изгиба (фиг. 82).

Диаграмма I фигуры 83 дает значения модулей сдвига G в различных сечениях оболочки. Сплошная кривая a дает значения G , снятые с касательных характеристик материи по напряжениям первого приближения, определенным по формулам (8) и (9):

$$\sigma_1 = pr \quad \text{и} \quad \sigma_2 = \frac{1}{2} pr.$$

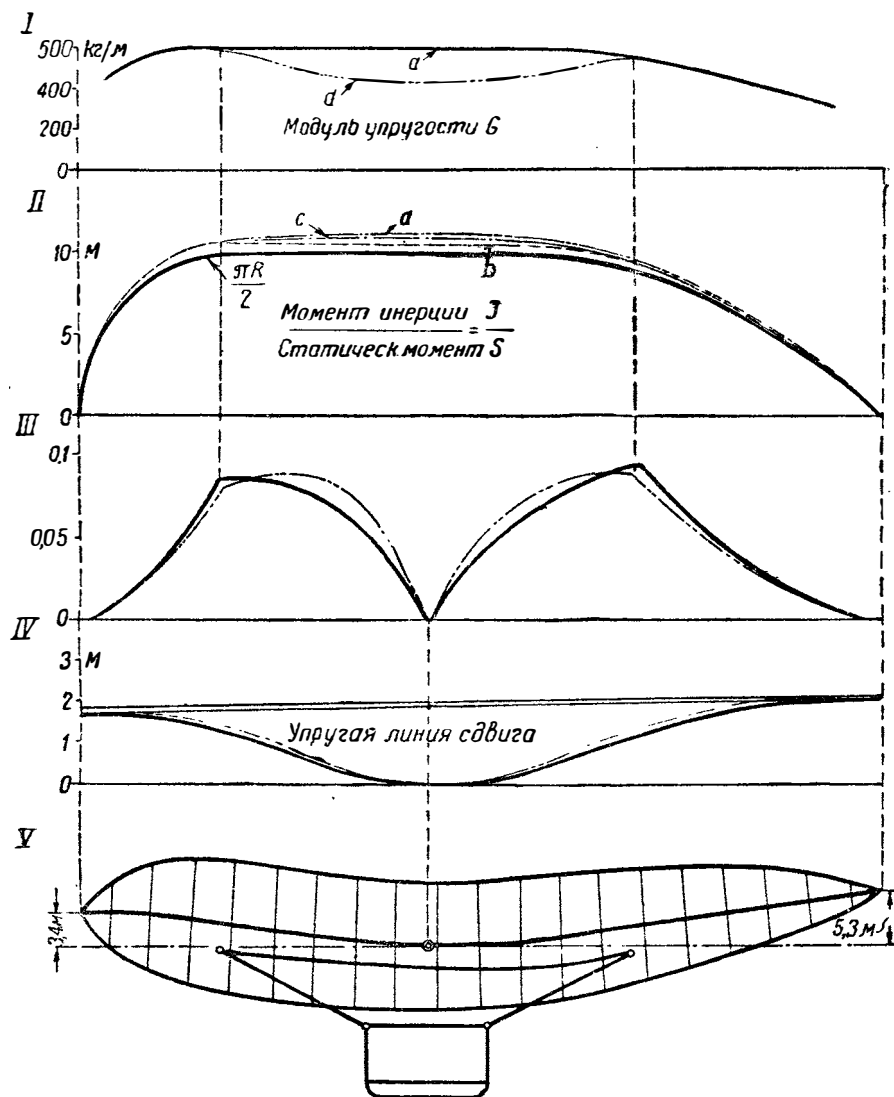
Пунктирная кривая d дает значения G для напряжений, определенных во втором приближении по формулам (14) и (15):

$$\sigma_1' = \sigma_1(1 + \epsilon_1)(1 - \epsilon_2) \quad \text{и} \quad \sigma_2' = \sigma_2(1 + \epsilon_1)^2.$$

Диаграмма II дает значения $\frac{I}{S}$, вычисленные для кругового сечения по формуле $\frac{I}{S} = \frac{\pi R}{2}$ (сплошная линия) и с различными поправками: кривая b учитывает влияние продольных швов, кривая c учитывает изменение формы сечения от горизонтальных поперечных составляющих натяжений подвески, кривая d (окончательная) учитывает также и изменение формы поперечного сечения от газового сверхдавления.

Диаграмма *III* дает величины углов сдвига γ , вычисленных по формуле (31):

$$\gamma = \frac{Q}{G} \cdot \frac{S}{2I}.$$



Фиг. 83. Упругая линия оболочки от сдвига и изгиба.

Сплошная линия этой диаграммы дает значения γ , вычисленные по кривой *a* диаграммы *I* и по кривой $\frac{\pi R}{2}$ диаграммы *II*.

Ординаты пунктирной кривой вычислены по кривым *d* диаграмм *I* и *II*.

Кривые диаграммы *IV* дают форму упругой линии оболочки при сдвиге. Они получены интегрированием кривых диаграммы *III*. Сплошной линией показана линия упругой оси, найденная без учета поправок, а пунктиром — с учетом таковых. Разница между этими двумя кривыми сравнительно невелика, так как поправки к G и к $\frac{I}{S}$, как это следует из диагр. *III*, влияют на характер кривой упругой оси в разных ее участках в противоположные стороны.

Чертеж *V* фиг. 83 показывает окончательную форму оболочки, полученную ею под действием изгиба и сдвига с учетом всех поправок. Построение производится следующим образом:

а) складываются ординаты упругих линий при изгибе (диаграмма *V*, фиг. 82) с ординатами упругой линии при сдвиге (диаграмма *IV*, фиг. 83);

б) по диаграмме *IV* фиг. 82 берут углы наклона поперечных сечений и проводят направления этих сечений в соответственных точках упругой линии, построенной по п. а);

с) по этим направлениям откладывают в обе стороны от упругой линии величины радиусов соответственных поперечных сечений и соединяют нанесенные точки плавной кривой.

А. Гаас и Р. Дитциус сравнили результаты гидростатических испытаний матерчатой модели (длиной в 1500 мм и диаметром средней части 200 мм) с результатами указанных подсчетов. Это сравнение показано на фиг. 84.

Диаграмма *I* этой фигуры дает эпюру изгибающих моментов по длине оболочки.

Диаграмма *II* дает значения модулей упругости E для напряжений, вычисленных без учета поправок.

Диаграмма *III* дает значения моментов инерции, вычисленных с поправкой на швы, равной 10%.

Диаграмма *IV* дает значения $\frac{M}{EI}$, найденные по указанным выше значениям M , E и I .

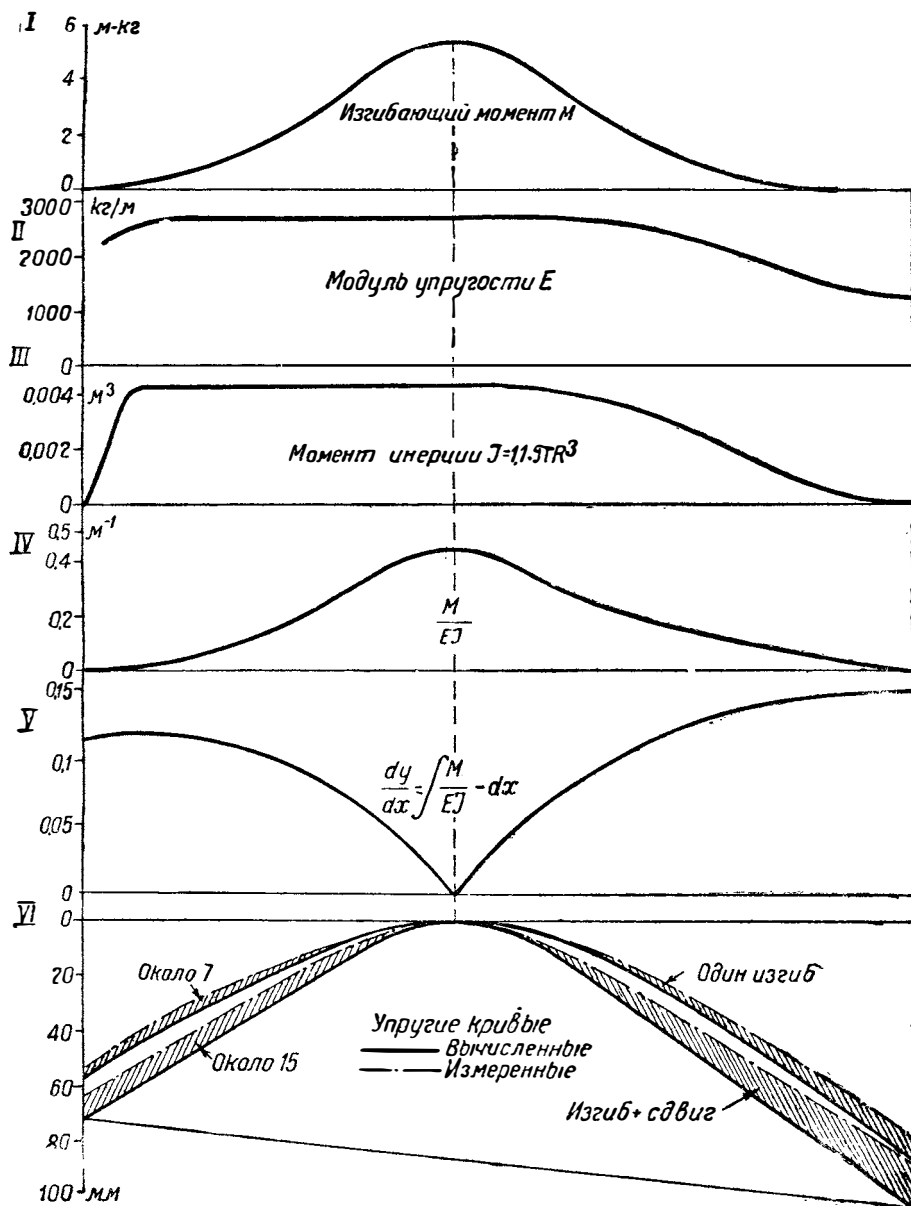
Диаграмма *V* дает вычисленные значения тангенсов углов наклона упругой линии при изгибе.

Диаграмма *VI* дает сравнение вычисленных и снятых с модели упругих кривых. Сплошными линиями проведены вычисленные кривые, пунктиром — определенные опытным путем. Штриховка показывает разницу результатов.

Из чертежа видно, что для изгиба эта разница составляет 7% от вычисленной величины, при учете изгиба и сдвига разница доходит до 15%. Это расхождение Гаас и Дитциус объясняют недостаточной точностью проведения средних линий на кривых касательных характеристик (сплошные линии на фиг. 21) и касательных к ним, нужных для определения G .

Результаты, даваемые методами, иллюстрированными фиг. 82 и 83, следует рассматривать как предварительные, позволяющие конструктору выбрать наилучший вариант проекта. Остановившись на каком-либо варианте, необходимо перейти к окончательному и полному определению всех деформаций оболочки гидростатическим мето-

дом, описанным в разделе II. Не повторяя поэтому уже сказанного об этих испытаниях, остановимся лишь на следующем.



Фиг. 84. Сравнение вычисленных и замеренных прогибов.

При испытании модель сейчас же после наполнения должна быть нагружена нагрузкой, имитирующей вес оперения и, если это пред-

усмотрено, и вес оболочки. Эти нагрузки должны оставаться на модели в течение всех испытаний. Особое внимание должно быть уделено деформациям кормовой части в районе расположения оперения. При значительных деформациях следует произвести новую регулировку подвески gondoly с обязательной фиксацией натяжений всех строп. Следует также замерять деформации материи оболочки по нанесенным на нее тушью кругам.

Определение статического момента от баллонетов следует производить постепенным наполнением отдельных баллонетов, фиксируя каждый раз угол, на который оболочка отклоняется от горизонтали, и момент, необходимый для приведения оболочки в горизонтальное положение. В заключение желательно произвести испытание на разрыв модели внутренним давлением. Для этого обычно бывает необходимо дополнительно укрепить носовую и кормовую заделки оболочки и крепления апендиксов, чтобы они не разрушались ранее самой оболочки. Результаты этого испытания определяют истинный запас прочности оболочки.

§ 3. ВЫБОР МАТЕРИИ И КОНСТРУКЦИЯ ОБОЛОЧКИ

Конструирование оболочки начинается с подбора материи. Запас прочности относительно поперечных напряжений при нормальном полетном сверхдавлении должен быть не ниже 8—10. Для уменьшения деформаций от сдвигающих усилий и достижения нераздираемости материя для оболочки обязательно должна быть диагонально дублированная. Число параллельных слоев выбирается в зависимости от требуемой прочности. Обычно применяется двух- или трехслойная материя. При равных весах предпочтение следует отдавать трехслойной материи, более стойкой в эксплуатации и имеющей меньшую газопроницаемость. Для мягких дирижаблей, оболочки которых испытывают значительные сдвигающие напряжения, не следует брать материю, имеющую диагональный слой из более слабого перкаля, чем параллельные, хотя такая материя и дает некоторый выигрыш в весе. С наружной стороны во избежание намокания материя должна быть покрыта слоем резины с алюминиевым порошком, если по заданию не требуется специальная окраска оболочки.

Подобрав тип материи, надо установить метод раскроя оболочки. Американские мягкие дирижабли имеют оболочку, раскроенную по усеченным конусам. Каждое кольцо, ограниченное двумя поперечными швами, разбивается на отдельные трапеции. Эти трапеции в продольном направлении образуют полотнище; число полотнищ для оболочки выбирается 12—16. Для удобства разметки на шаблонах расположения стабилизаторов и других деталей желательно выбирать число полотнищ, делящееся на 4. Этот раскрой дает плавность формы, но трудности изготовления шаблонов, стягивание оболочки поперечными швами и жесткость углов, где собирается четыре слоя материи, заставляют предполагать, что американская промышленность применяет этот раскрой лишь по технической традиции.

Для некоторых мягких и полумягких дирижаблей, как например дирижабль СССР-B1, применялся раскрой продольными меридианаль-

ными полотнищами со сдваиванием полотнищ на носу и на корме. Недостатками этого раскроя являются: направление более прочной основы вдоль судна и отсутствие поперечных швов, предохраняющих оболочку от раздираания при случайных надрывах и усиливающих ее в поперечном, наиболее нагруженном направлении. При правильно подобранном сдваивании полотнищ носовой и кормовой частей этот метод дает некоторое уменьшение общей длины швов по сравнению с трапецидальным раскроем, особенно на небольших оболочках. С производственной стороны недостатками этого метода являются трудность подбора длинных кусков, не имеющих дефектов, и значительные отходы материи.

В советском дирижаблестроении наибольшим распространением пользуется метод раскроя из меридианальных полотнищ с разбивкой их на трапеции. Швы трапеций в соседних полотнищах располагаются в шахматном порядке. При таком раскрое более прочная основа идет поперек оболочки, т. е. в направлении больших натяжений. Поперечные швы, разогнанные в шахматном порядке, не дают поперечных стягиваний оболочки и вместе с тем усиливают ее сплошной сеткой. В пересечении продольных швов с поперечными мы имеем только три слоя, а не четыре, как в американском раскрое.

Случайные разрывы оболочки, продолжающиеся обычно в направлении, нормальном к наибольшим напряжениям, т. е. вдоль оболочки, кончаются, дойдя до ближайших поперечных швов. В этом заключается одно из преимуществ рассматриваемого раскроя перед меридианальным.

С производственной стороны этот метод раскроя очень удобен, дает мало отходов и, так как ширина трапеции редко превышает 4 м, позволяет применять материю с дефектными местами. Разворачивание дуги меридиана и определение ширины полотнища производятся по способу, указанному в разделе IV.

Число полотнищ может приниматься равным 12 для всех случаев, как обеспечивающее плавность формы при минимальной длине швов. Уменьшение числа полотнищ, например до 8, может создать неправильности в форме оболочки. Высота трапеций принимается равной максимальной раскройной ширине материи. Для уменьшения длины швов в кормовой и носовой частях можно переходить на продольные полотнища, направляя основу по их длине.

При всех методах раскроя продолжение его до крайних носовой и кормовой точек оболочки привело бы к взаимному пересечению швов и трудности обеспечить в этих местах газонепроницаемость. Поэтому, без ущерба для плавности очертаний, носовую часть оболочки заменяют плоской круглой шайбой, а кормовую — прямым конусом. Диаметр носовой шайбы обычно принимается равным 500 или 1000 мм. При шайбе диаметром 1000 мм и числе полотнищ, равном 12, ширина полотнища b в месте присоединения к шайбе будет равна:

$$b = \frac{\pi \cdot 1000}{12} = 261 \text{ мм},$$

а в раскрое с прибавкой 20 мм на шов — 281 мм.

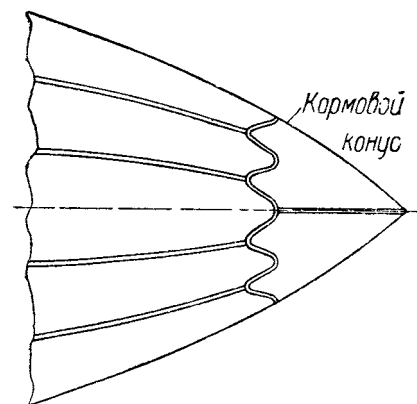
Размеры кормового конуса выбираются так, чтобы конус мог быть сшит из двух кусков материи по двум противоположным образующим. Обычно длина образующей выбирается равной 1000—1200 мм. Соединение конуса с полотнищами оболочки во избежание перехвата не должно производиться сплошным круговым швом, как это делается у носовой шайбы. Для соединения концы полотнищ и основание конуса обрезаются фестонами по числу полотнищ. Вершина выступающего фестона конуса должна лежать на продольном шве полотнищ. Такое соединение, показанное на фиг. 85, обеспечивает плавность перехода от конуса к основной части оболочки.

Выбор ширины пересклейки швов, соединяющих трапеции полотнища оболочки, зависит от прочности материи и от типа принятых на производстве швейных машин. Склейка без пришивки должна

обеспечивать равнопрочность этого соединения и целой материи. На основании практических испытаний можно считать, что равнопрочность обеспечивается, если ширина пересклейки b равна:

$$20 \text{ мм для материи с } R = 1100—1400 \text{ кг/м,}$$

$$25 \text{ мм для материи с } R = 2200—2400 \text{ кг/м.}$$



Фиг. 85. Заделка кормовой части оболочки.

для материи с $R = 2200—2400 \text{ кг/м}$. Выбор двух или трех строчек во втором случае зависит от наличия на производстве трехугольных машин.

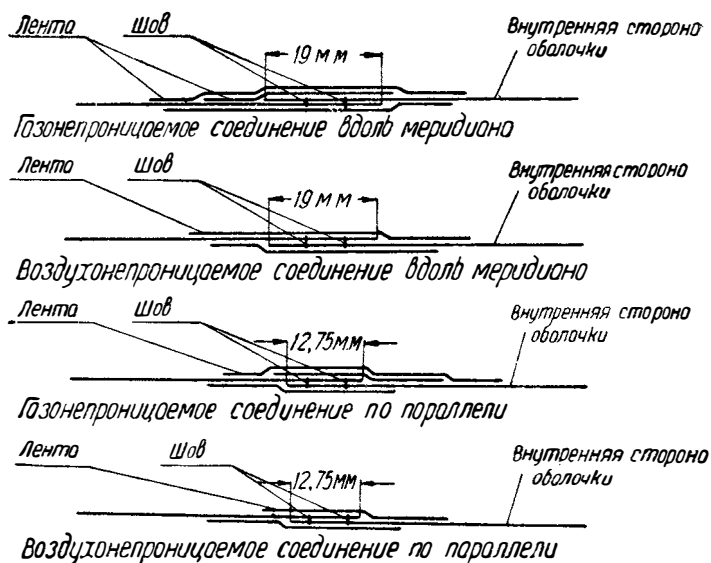
Для получения газонепроницаемости на строчках и для предохранения склейки от раздираания швы закрываются лентами. Обычно на швы оболочки кладется одна наружная и две внутренние ленты. Делается это из тех соображений, что наружные ленты, непосредственно подвергающиеся атмосферным воздействиям, быстро разрушаются и перестают препятствовать проходу газа. Ширина лент выбирается так, чтобы нижележащая строчка, а также кромка материи или ленты перекрывались бы лентой на 5 мм. Отвечающие этому требованию типовые швы показаны на фиг. 86.

Комплект рабочих чертежей по оболочке обычно состоит из следующих чертежей:

1) чертеж раскроя полотнища (масштабы: $y = 1 : 5$; $1 : 10$; $x = 1 : 100$; $1 : 50$);

2) сборочная схема оболочки с разметкой деталей и позициями как частей самой оболочки, так и установленных на ней деталей;

- 3) раскрой носовой шайбы и кормового конуса;
- 4) типовые продольные и поперечные швы;
- 5) заделка кормовой и носовой частей;
- 6) сборочный чертеж оболочки с позициями деталей.



Фиг. 86. Типовые американские швы оболочек.

Приведенная номенклатура является общей и в зависимости от характера объекта может изменяться.

§ 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЛЛОНЕТОВ

Баллонеты компенсируют изменения объема газа, заключенного в оболочке. Эти изменения могут происходить вследствие изменения высоты полета судна, температуры газа и при умышленном выпускании газа из оболочки через клапаны. Объем баллонетов должен быть равен максимально возможному объему газа, выпущенного из корабля. Чтобы судно не потеряло своей пловучести, максимальный выпускаемый объем газа должен иметь подъемную силу, равную разности между полной подъемной силой и мертвым весом корабля. При этом на борту судна не должно оставаться ни одного человека экипажа и ни одного килограмма горючего и балласта. В действительности это невозможно, но получающийся при таком определении излишек объема баллонета необходим на случай потери газа из-за его перегрева солнечными лучами.

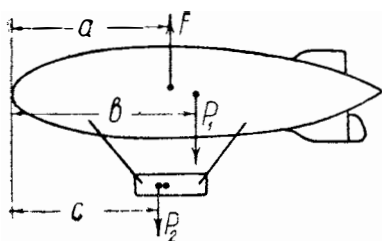
Расходными грузами на борту дирижабля являются горючее со смазкой и балласт, которые центрируются каждый сам на себя, т. е. их центры тяжести должны лежать на вертикали центра подъемной силы. Это необходимо, чтобы не нарушать общую центровку судна при расходовании указанных грузов. Отсюда очевидно, что и центр

объема баллонетов должен лежать на вертикали центра подъемной силы.

В мягких дирижаблях все расходуемые грузы обычно размещаются в гондole, и она является единственным грузом, который можно перемещать при сборке для центровки судна. Следовательно, при различных степенях нагружения и постоянном положении гондолы мы будем получать различные диференты судна. С этим изменением диферента, обычно заключающимся в пределах 4—6°, конструктору приходится мириться.

В сказанном легко убедиться из следующих рассуждений. На фиг. 87 буква F обозначает полную подъемную силу газа; P_1 — мертвый вес оболочки со всеми установленными на ней деталями; P_2 — вес гондолы со всей ее полезной нагрузкой; a , b и c — расстояния направлений этих сил от носа судна.

Для равновесия судна по вертикали и для горизонтальности его оси должны иметь место следующие равенства:



Фиг. 87. К центровке мягкого дирижабля.

$$F = P_1 + P_2; \quad (156)$$

$$F \cdot a = P_1 \cdot b + P_2 \cdot c. \quad (157)$$

Отнимем теперь от веса гондолы P_2 какую-то часть P_3 расходуемого груза. Чтобы судно при этом осталось уравновешенным по вертикали, нужно уменьшить на ту же величину P_3 и подъемную силу F . Пусть центр тяжести гондолы не сместился. Тогда условие горизонтальности оси даст:

$$P_3 a = P_3 c.$$

Другими словами, для сохранения горизонтальности оси необходимо, чтобы a было равно c . Если это невозможно, то судно надо центровать так, чтобы его диферент при максимально возможном уменьшении полезной нагрузки был минимальным, а центр объема баллонетов располагать на одной вертикали с центром подъемной силы оболочки. При таких условиях изменение диферента не будет зависеть от степени выполнения баллонетов (высоты полета), а будет зависеть лишь от изменения полезной нагрузки.

Объем баллонетов, как это было указано выше, определяется весом расходуемых грузов:

$$U_6 = U_r - \frac{P_m}{\phi}, \quad (158)$$

где U_6 — объем баллонета;

U_r — полный объем судна;

P_m — мертвый вес судна;

ϕ — удельная подъемная сила газа на уровне моря.

Объем баллонетов иногда определяют через весовую отдачу дирижабля μ , равную:

$$\mu = \frac{U_r \phi - P_m}{U_r \phi}. \quad (159)$$

Умножая обе части этого равенства на U_r , находим:

$$\mu U_r = U_r - \frac{P_m}{\phi}$$

или на основании формулы (158):

$$U_6 = \mu U_r. \quad (160)$$

Определив объем баллонетов, нужно перейти к определению их основных размеров. Прежде всего следует определить протяжение баллонетов по длине оболочки. Так как баллонет, вытесняя подъемный газ, компенсирует уменьшение полезной нагрузки, то логично располагать баллонет там, где на оболочку передается вес этой уменьшающейся нагрузки, т. е. в районе крепления подвески гондолы к оболочке. При таком расположении баллонетов мы можем ожидать, что при их выполнении соответственно облегчению гондолы перерезывающие силы и изгибающие моменты, действующие на оболочку в этом районе, не будут значительно увеличиваться.

Кроме распределения нагрузки по оболочке, на выбор длины баллонетов могут влиять следующие соображения: длинный баллонет при равном объеме имеет большую поверхность и, следовательно, больший вес, чем более короткий; с другой стороны, более короткий баллонет при частичном его выполнении представляет большую возможность для переливания воздуха, чем длинный. Переливание же воздуха сказывается на устойчивости судна в полете. Наконец, на расположение баллонетов влияют и конструктивные соображения.

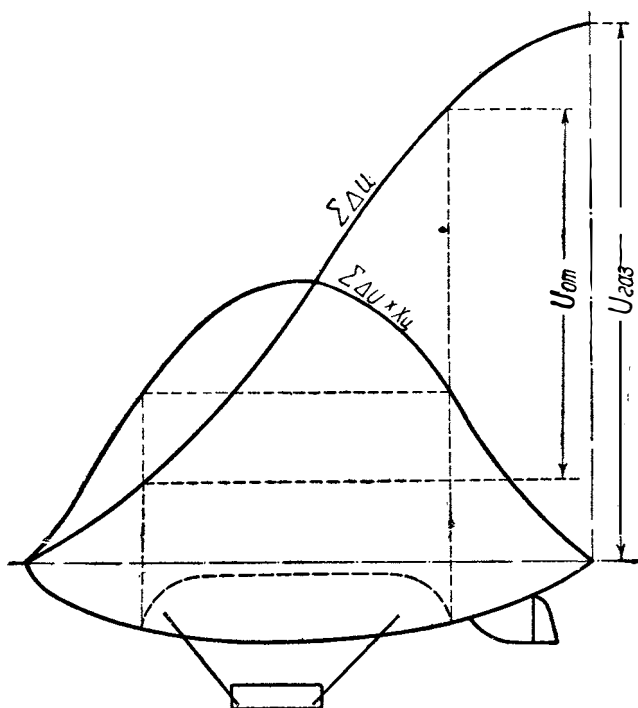
Начиная с первых дирижаблей Парсевала и кончая мягкими американскими дирижаблями серий *A*, *B*, *OB-1*, *TA* и *TC*, а также первым вариантом советского дирижабля «Комсомольская правда», мягкие дирижабли имели два отдельных баллонета, расположенных в носовой и кормовой частях оболочки на некотором расстоянии друг от друга. Такое разделение баллонета было необходимо для первых дирижаблей Парсевала, имевших недостаточную площадь оперения, потому что баллонеты служили для искусственного создания диферента.

В современных дирижаблях с мощным оперением такое разделение баллонетов теряет свой смысл и лишь усложняет пилотирование и утяжеляет конструкцию. В мягких дирижаблях, построенных Дирижаблестроем, устраивался один баллонет с центром объема, лежащим на вертикали центра подъемной силы. Для дирижаблей средней кубатуры (5000—7000 м³) такой баллонет разделялся на две части глухой перегородкой. Эта схема всецело оправдала себя на практике с точки зрения как конструкции, так и эксплуатации.

Для определения положения баллонета, при котором центр его объема лежит на вертикали центра подъемной силы, нужно построить на какой-либо оси интегральную кривую объема оболочки и интегральную кривую моментов объемов оболочки относительно центра подъемной силы. Эти кривые: $\Sigma \Delta U$ по x и $\Sigma (\Delta U \cdot x_{ц})$ по x показаны на фиг. 88.

Если провести какую-либо горизонталь, пересекающую в двух точках кривую $\Sigma (\Delta U \cdot x_{ц})$, то соответственные концевые отсеки обо-

лочки будут иметь равные моменты относительно центра объема. Следовательно, часть объема оболочки между сечениями также будет уравновешена относительно центра объема. Этим свойством кривой $\Sigma(\Delta U \cdot x_{ц})$ пользуются для определения границ баллонета. Для этого наметим на оси x одну из границ баллонета (носовую или кормовую) и проведем из намеченной точки вертикаль до пересечения с кривой $\Sigma(\Delta U \cdot x_{ц})$. Из этого пересечения проведем горизонталь до пересечения с той же кривой. Перпендикуляр, опущенный из этого



Фиг. 88. Интегральные кривые объемов и моментов объемов.

пересечения на ось x , определит вторую границу баллонета. Если по конструктивным соображениям положение второй границы баллонета окажется неудобным, то перенесем ее насколько требуется и определим методом, указанным выше, новое положение первой границы.

Определив границы баллонета, ищем объем той части оболочки, в которой он расположен. Для этого продолжим вертикали, определяющие границы баллонета, до пересечения с интегральной кривой объемов $\Sigma \Delta U$ и из точек пересечения проведем горизонтали до встречи с осью y . Отрезок оси y между этими горизонталями даст в ее масштабе объем указанной выше части оболочки. Чтобы получить такую форму баллонета, при которой его объем был бы равен заданному, а центр этого объема совпадал бы с центром объема занятой им части оболочки, надо, чтобы площадь любого поперечного сечения баллонета

относилась к площади соответствующего сечения оболочки так, как объем баллонета относится к объему занимаемой им части оболочки.

Формула (160) определяла объем баллонета в зависимости от объема оболочки и весовой отдачи μ . Найдем теперь отношение μ' объема баллонета U к объему U_1 той части оболочки, в которой расположен баллонет. Указанное отношение μ' называется отдачей баллонета:

$$\mu' = \frac{U_6}{U_1} = \frac{\mu \cdot U_r}{U_1}. \quad (161)$$

Так как вследствие закругления концов баллонета его объем уменьшается, то полученное значение μ' рекомендуется увеличивать на 4—6%. Сделав это, получим:

$$\mu' = 1,05\mu \frac{U_r}{U_1}. \quad (162)$$

Если мы обозначим через Ω_6 площадь сечения баллонета и через Ω площадь сечения оболочки, то мы должны иметь равенство:

$$\Omega_6 = \mu' \Omega.$$

Определение формы поперечного сечения баллонета обычно производится для миделевого сечения оболочки. При этом мы принимаем, что:

a) поперечное сечение оболочки есть круг радиуса r ;
b) площадь сечения баллонета $\Omega_6 = \mu' \Omega$;

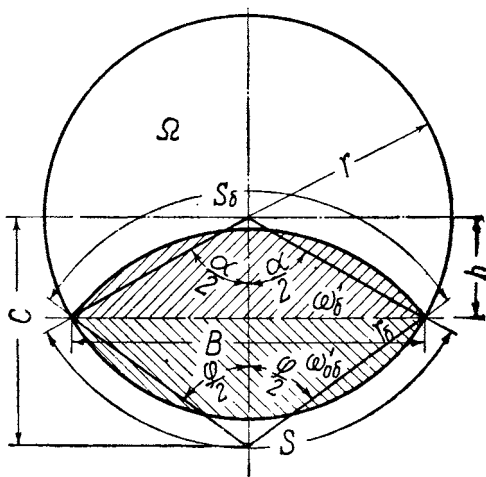
c) форма поперечного сечения потолка (верхней поверхности) баллонета представляет собой часть дуги круга;

d) длина дуги поверхности баллонета S_6 равна 1,1 длины дуги оболочки ниже линии пришива баллонета.

Последнее условие необходимо для того, чтобы поверхность баллонета при выполненной газом оболочке судна свободно ложилась на нижнюю поверхность этой оболочки. Увеличение дуги на 10% выбирается потому, что материя оболочки обычно удлиняется на 6—8% и 2—4% остаются в запас.

На фиг. 89 изображено поперечное сечение оболочки и баллонета. Обозначим:

- ω'_6 — площадь верхнего сегмента баллонета, выше линии пришива;
- $\omega'_{об}$ — площадь нижнего (ниже линии пришива) сегмента оболочки;
- r — радиус сечения оболочки;



Фиг. 89. К определению формы сечения баллонета.

r_6 — радиус сечения баллонета;

S' — длина дуги нижнего сектора оболочки;

S_6 — длина дуги сечения баллонета;

B — хорда, стягивающая точки пересечения баллонета и оболочки;

α — угол дуги оболочки, стягиваемой хордой B ;

φ — угол дуги баллонета, стягиваемой хордой B ;

h — расстояние линии пришива от горизонтального диаметра сечения оболочки.

Для определения размеров поперечного сечения баллонета задаемся некоторым значением угла α и находим:

$$B = 2r \sin \frac{\alpha}{2} \quad (163)$$

или:

$$B = 2r_6 \sin \frac{\varphi}{2}. \quad (164)$$

Далее имеем:

$$S' = \pi r \frac{\alpha^\circ}{180} = 0,01745 r \alpha^\circ; \quad (165)$$

$$S_6 = 1,1 S' = 0,0192 r \alpha^\circ; \quad (166)$$

$$\frac{B}{S_6} = \frac{2r_6 \sin \frac{\varphi}{2}}{\pi r_6 \frac{\varphi^\circ}{180}} = \frac{180}{\pi} \frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}}. \quad (167)$$

Отсюда:

$$\frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}} = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{B}{S_6} = 0,01745 \frac{B}{S_6} = 0,01586 \frac{B}{S}. \quad (168)$$

В уравнении (168) неизвестным является угол φ . Решим это уравнение графически, для чего построим график, показывающий изменение величины $\frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}}$ по углу $\frac{\varphi}{2}$. Этот график изображен на фиг. 90.

Найдя для произвольно выбранного угла α величины B и S_6 по формулам (163) и (166), определяем отношение $\frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}}$ по формуле (168)

и берем по этому отношению с фиг. 90 величину угла $\frac{\varphi}{2}$. Зная углы α и φ и радиус оболочки r , определяем все остальные характеристики сечения баллонета:

$$h = r \left(1 - 2 \sin^2 \frac{\alpha}{4} \right) = r \frac{\alpha}{2}; \quad (169)$$

$$S_6 = 0,0192 \alpha; \quad (170)$$

$$r_6 = \frac{B}{2 \sin \frac{\varphi}{2}}; \quad (171)$$

$$\omega'_6 = \frac{r_6^2}{2} \left(\frac{\pi}{180} \varphi^\circ - \sin \varphi \right); \quad (172)$$

$$\omega'_{\phi 6} = \frac{r^2}{2} \left(\frac{\pi}{180} \alpha^\circ - \sin \alpha \right); \quad (173)$$

$$\mu' = \frac{\Omega_6}{\Omega}. \quad (174)$$

Расстояние от продольной оси оболочки до центра сечения баллонета равно:

$$c = r_6 \cdot \cos \frac{\varphi}{2} + h. \quad (175)$$

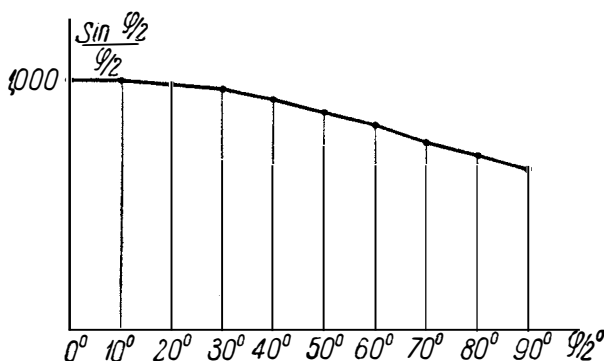
Так как мы совершенно произвольно задались углом α , то отдача баллонета μ' не получится равной заданной. Поэтому для получения сечения баллонета с

заданной отдачей придется сделать ряд последовательных попыток. Эти попытки удобнее всего производить следующим образом. Задаваясь последовательно 5—6 значениями угла α , производим по этим значениям указанные выше вычисления. По полученным величинам строим графики, изображающие изменение S_6 , r_6 , Ω_6 и μ' по величине h , т. е. по высоте линии пришива. Имея такой график, мы по любой заданной отдаче $\mu' = \mu_6$ определяем с него все остальные величины.

Такой график изображен на фиг. 91. Если предполагается проектировать ряд мягких дирижаблей, то имеется смысл произвести построение такого графика для радиуса оболочки $r = 1$ с тем, чтобы в случае надобности, задавшись значением μ' и определив все характеристики для $r = 1$, пересчитать их на заданное значение r .

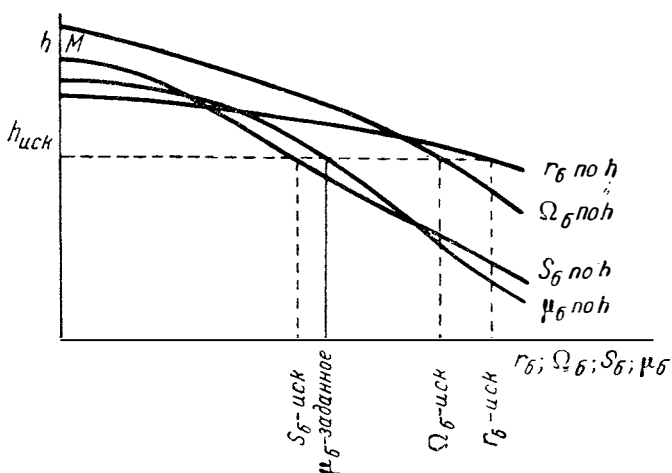
Получив характеристики сечения баллонета в миделевом сечении, мы пересчитываем их по сечениям пропорционально отношению радиуса данного сечения r_i к радиусу миделя r_m . Это отношение $\frac{r_i}{r_m} = k$ называется коэффициентом подобия по сечениям.

Носовой и кормовой торцы баллонета обычно получают другое образование, чем средняя часть. Если бы баллонет был закончен



Фиг. 90. Диаграмма изменения $\frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}}$ по $\frac{\varphi}{2}$.

плоской торцевой стенкой, то при выполнении баллонета без избыточного давления разность давлений воздуха в баллонете и газа в оболочке выпучивала бы стенки баллонета, особенно в нижней части, где разница давлений приобретает наибольшее значение. Вследствие этого стенка заставляла бы шов работать на отрыв и стягивала бы оболочку. Переливания воздуха в баллонете, происходящие при тангаже судна, могут значительно увеличить это натяжение. Поэтому за немногими исключениями баллонеты заканчиваются по концам поверхностью вращения какой-либо плавной кривой, причем эта поверхность подходит к оболочке примерно по нормали. Кривой обвода торца баллонета может служить часть дуги круга, часть дуги эллипса, графически заданная кривая и т. д. Выбор той или иной кривой не может определяться каким-либо расчетом и всецело зависит от конструк-



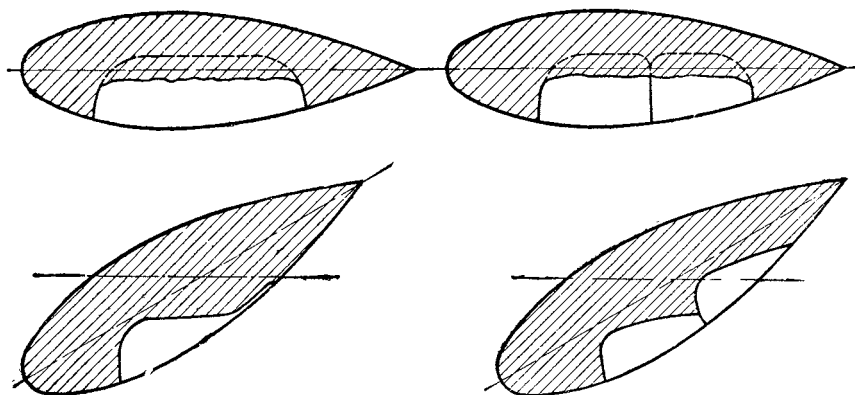
Фиг. 91. График характеристик сечения баллонета.

тора. В некоторых случаях [дирижабль ДМ-2 (СССР-В2 и В3)] торцы баллонетов образуются как торы, получаемые вращением поперечного сечения баллонета вокруг его хорды, проходящей ниже точек пришива. Геометрическое образование такого торца понятно из фиг. 16.

Определив форму торцов баллонета, нужно найти их объемы и положение центров этих объемов. Эти определения удобнее всего производить графически. Выбор числа отдельных баллонетов или отсеков одного общего баллонета определяется необходимой степенью статической устойчивости судна. Верхняя поверхность частично выполненного баллонета располагается горизонтально. При диференте судна поверхность баллонета стремится сохранить свою горизонтальность, вследствие чего происходит переливание воздуха в баллонете в сторону диферента. Следствием этого переливания является момент, стремящийся увеличить диферент судна. Деление баллонета глухими перегородками на отдельные отсеки уменьшает переливание воздуха и тем самым момент, стремящийся увеличить диферент. Это видно из фиг. 92, где показан баллонет без перегородки и с одной перегородкой.

С увеличением числа перегородок увеличивается устойчивость судна, но при этом увеличивается вес конструкции (вес перегородок, дополнительных клапанов и пр.) и усложняются производство и пилотирование.

В мягких дирижаблях, у которых около 65—70% всего полетного веса сосредоточено в гондole, подвешенной значительно ниже центра подъемной силы, статический восстанавливающий момент при дифферентах значительно превышает моменты, могущие возникнуть от переливания воздуха в баллонете. Поэтому для мягких дирижаблей с кубатурой до 2500—3000 м³ можно делать один общий баллонет, для дирижаблей же объемом от 3500 до 10 000 м³ общий баллонет нужно разделять глухой перегородкой на два отсека. Перегородка должна быть образована так, чтобы она свободно выкладывалась по оболочке, когда один из отсеков выполнен полностью. Обычно ниже



Фиг. 92. Влияние баллонетных перегородок.

линии пришива баллонета перегородка обоих отсеков делается общей, а выше линии пришива отдельной для каждого отсека. Чаще всего перегородки образуются как части шаровых сегментов (фиг. 16).

Средняя часть поверхности баллонета, обычно называемая потолком, представляет собой часть боковой поверхности кругового конуса с криволинейной геометрической осью. Разворачивание такой поверхности строгими геометрическими методами чрезвычайно сложно и практически неудобно, так как при этом каждое отдельное продольное полотнище получается отличающимся от соседнего и поэтому требует отдельного шаблона.

В Конструкторском бюро Дирижаблестроя принят метод раскраивания баллонетов, не имеющий строгих геометрических обоснований, но удобный для производства и оправдавший себя на практике. По этому методу потолок баллонета раскраивается на продольные полотнища, симметричные относительно их осей. За длину оси полотнища потолка принимается длина оси полотнища оболочки, т. е. развертка дуги меридиана оболочки в соответствующем интервале. Число полотнищ определяем делением длины дуги сечения баллонета в ми-

деле на раскройную ширину применяемой материи. Остаток, получающийся при таком делении, распределяется между крайними полотнищами, присоединяемыми к оболочке, причем эти полотнища получают несимметричную относительно своей оси форму. Полуширины полотнищ получаются простым умножением полуширины полотнища в миделе на коэффициент подобия каждого данного сечения.

Величины, нужные для раскроя торцов и перегородок, образованных как поверхности вращения некоторой выбранной кривой, находятся аналитически или графически в зависимости от типа выбранной кривой. Определение линии пересечения торца баллонета с оболочкой и соответствующие этой линии срезы полотнищ торца определяются графически, путем построения сечений, перпендикулярных оси судна. Чтобы иметь возможность провести эти построения с достаточной точностью, масштабы чертежей должны выбираться не мельче 1 : 20.

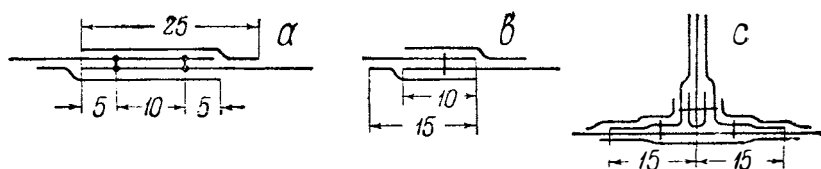
Материя, выбираемая для изготовления баллонета, должна иметь минимальный вес, достаточную прочность и газопроницаемость не выше газопроницаемости оболочки.

Минимальный вес при малой газопроницаемости можно получить лишь при двухслойной материи. Так как баллонет находится внутри оболочки и защищен от всех атмосферных влияний, то материя баллонета не должна иметь какой-либо окраски или внешнего покрытия. Защищенность баллонета от внешних повреждений и незначительные напряжения его оболочки позволяют применять параллельно дублированную материю, более простую в изготовлении. Указанная незначительность напряжений объясняется тем, что давление воздуха на уровне поверхности баллонета лишь немного больше давления газа на том же уровне. Наибольшие напряжения могут возникать, когда баллонет полностью выполнен, а воздух продолжает подаваться. Однако и в этом случае трудно предполагать, что разница давлений превысит, даже при невнимательности экипажа судна, 5 кг/м^2 . Приняв эту разницу давлений и радиус сечения баллонета равным 6 м, мы получим напряжение в 30 кг/м . Следовательно, при запасе прочности, равном десяти, R материи должно быть порядка 300 кг/м . Между тем параллельно дублированная двухслойная материя из самых легких перкалей дает временное сопротивление порядка $1000\text{—}1200 \text{ кг/м}$. Отсюда можно заключить, что современные баллонетные материи имеют чрезмерный запас прочности и излишний вес.

Характеристики баллонетных материй, изготавливаемых в различных странах, мало чем отличаются друг от друга. Средние характеристики этих материй будут следующими: вес $240\text{—}260 \text{ г/м}^2$, временное сопротивление $1000\text{—}1200 \text{ кг/м}$, газопроницаемость $8\text{—}12 \text{ л/м}^2$ в сутки, конструкция — два параллельных неокрашенных перкаля с весом каждого $58\text{—}65 \text{ г/м}^2$. Такая материя применяется в настоящее время для баллонетов как в привязных аэростатах объемом в 800 м^3 , так и в полужестких дирижаблях объемом до $50\,000 \text{ м}^3$ (проекты)

Для крайних полотнищ баллонета, непосредственно примыкающих к оболочке, применяется та же материя, но только предварительно скошенная под углом в 45° . Это делается для того, чтобы материя бал-

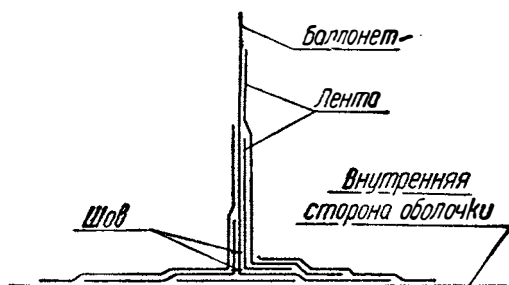
лонета могла следовать деформациям оболочки, не вызывая ее стягивания. Стягивание оболочки баллонометом получается от того, что материя оболочки, все время находящаяся под значительным натяжением, со временем сильно удлиняется (до 8%), а материя баллонета, не находясь под натяжением, препятствует этим деформациям. Поэтому при проектировании баллонета нужно следить за тем, чтобы линия пришива по баллонету была бы на 6—10% длиннее той же



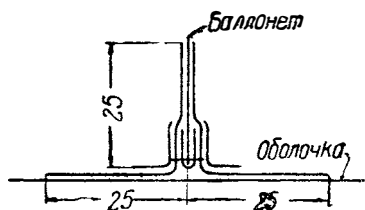
Фиг. 93. Типовые швы баллонета.

линии по оболочке. На чертежах надо оговаривать величину посадки баллонета по оболочке.

Соединение полотнищ баллонета друг с другом производится обычно проклеенным и прошитым швом, закрытым с каждой стороны одной лентой. Такой типовой шов с пересклейкой в 20 мм и двумя строчками ниток № 10 изображен на чертеже а фиг. 93. По нашему мнению для баллонета вполне можно было бы применять шов с пере-



Фиг. 94. Американский пришив баллонета.



Фиг. 95. Пришив баллонета к оболочке.

склейкой в 10 мм и с одной строчкой ниток № 10, как это изображено на чертеже в той же фигуры.

Наиболее ответственным является шов, соединяющий баллонет с оболочкой. На чертеже с фиг. 93 изображено присоединение баллонета с пришивом его к оболочке. Такая конструкция является очень трудной в производстве, так как прошивку приходится производить после окончательного изготовления всего баллонета и наполовину собранной тяжелой оболочки.

Американский типовой шов изображен на фиг. 94. При этой конструкции к поверхности баллонета пришиваются двумя строчками ленты усиления, которые только приклеиваются к оболочке на ширину 25 мм с каждой стороны.

На фиг. 95 показана конструкция присоединения баллонета, предложенная автором настоящей работы. Так же как и при американском

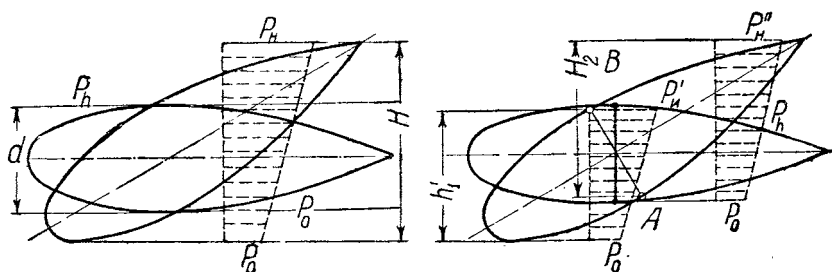
способе, баллонет только приклеивается к оболочке. Лента из одной слойной материи, охватывающая полотнище баллонета, служит для предохранения материи баллонета от разрыва при выдирании из нее строчки пришива лент усиления. Практика эксплуатации дирижаблей в СССР показала полную надежность соединения баллонета только на приклейке.

Комплект баллонета состоит в основном из следующих чертежей:

- 1) формы сечения баллонета в миделе;
- 2) полотнища потолка баллонета;
- 3) полотнища раскроя торцов баллонета;
- 4) полотнища раскроя баллонетной перегородки;
- 5) сборочной схемы баллонета полностью или по частям;
- 6) сборочного чертежа баллонета;
- 7) конструкции шва и присоединения;
- 8) проверки центровки торцов баллонета.

§ 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДИАФРАГМ

Внутренние диафрагмы назначаются для разделения газовой оболочки на отдельные части с целью уменьшения перебивания газа при



Фиг. 96. Влияние диафрагмы на сверхдавление при кренах.

тангаже и для уменьшения сверхдавления в поднявшихся концах оболочки. Последнее видно из фиг. 96, на левом чертеже которой схематически изображена оболочка дирижабля без диафрагмы, а на правом — с одной глухой диафрагмой. Легко видеть, что при наклоне оси оболочки наибольшее сверхдавление p в первом случае будет равно:

$$p_n = p_0 + \phi H.$$

Во втором случае наибольшие сверхдавления в носовом и кормовом отсеках будут соответственно равны:

$$p'_n = p_0 + \phi H_1 \text{ и } p''_n = p_0 + \phi H_2.$$

Так как H_1 и H_2 меньше H , то p'_n и p''_n будут меньше p_n .

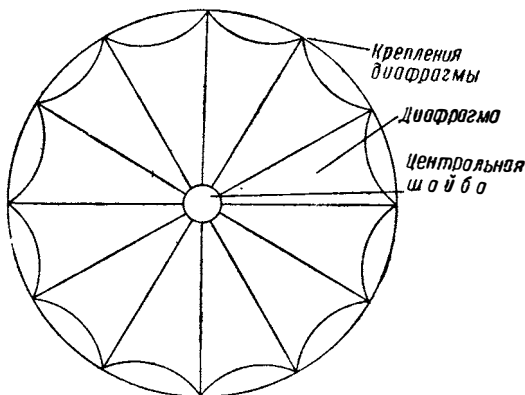
Увеличение числа диафрагм улучшает продольную устойчивость судна, но значительно увеличивает его мертвый вес. В настоящее время не существует метода определения необходимого числа диа-

фрагм теоретическим путем. Можно лишь утверждать, что с увеличением полетного сверхдавления число диафрагм можно уменьшать вследствие большего постоянства формы оболочки, уменьшающего возможность переливания газа.

На основании практических данных можно считать, что в мягких дирижаблях с нормальным полетным давлением 20—25 мм вод. ст. можно не ставить диафрагм до кубатуры 2500—3000 м³. От 3500 до 10 000 м³ достаточно ставить одну диафрагму.

По своему устройству диафрагмы разделяются на три типа: глухие диафрагмы, полностью разделяющие отсеки оболочки, диафрагмы с большими отверстиями и диафрагмы с малыми отверстиями.

Глухие диафрагмы работают наиболее эффективно, препятствуя переливанию газа и уменьшая сверхдавления при диферентах судна. Но вместе с тем глухие диафрагмы требуют искусственного поддержания одинаковых сверхдавлений в соседних отсеках. Это затрудняет пилотажа корабля, требуя одновременного и равного выпуска газа или воздуха из всех отсеков, и препятствует исползованию различного выполнения баллонетов без выпуска газа для создания диферента. Кроме того, при уменьшении сверхдавления в каком-либо отсеке путем выпуска воздуха из его баллонета, нарушается центровка судна. Все это заставило отказаться от глухих диафрагм.

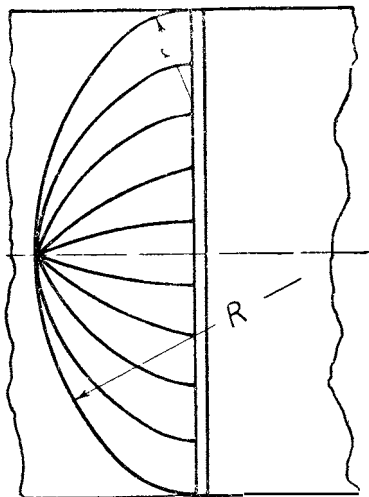


Фиг. 97. Диафрагма с отверстиями.

Диафрагмы с большими отверстиями (фиг. 97), присоединяющиеся к оболочке только в отдельных точках, пользовались в прежнее время широким распространением. Малая эффективность таких диафрагм вполне очевидна. Они препятствуют только быстрым переливаниям газа, но не предохраняют оболочку от значительных увеличений сверхдавления при длительном полете с диферентом. Этот же недостаток имеют и глухие диафрагмы из непрорезиненной ткани, пропускающей газ. Такие диафрагмы из непрорезиненного перкаля были поставлены в оболочках дирижаблей СССР-В2 и СССР-В3. В настоящее время они заменены диафрагмами из прорезиненной газонепроницаемой материи с небольшими отверстиями.

Диафрагмы третьего типа делаются из прорезиненной газонепроницаемой материи и отличаются от глухих диафрагм тем, что в их нижней части делается несколько небольших отверстий. Площадь отверстий подбирается так, чтобы при тангаже судна сверхдавление не успевало заметно повышаться в приподнявшемся отсеке. Для современных мягких и полужестких дирижаблей применяется исключительно этот тип диафрагм.

Геометрически дифрагма образуется так, чтобы она не натягивалась при любых возможных изменениях формы поперечного сечения оболочки и чтобы перемещения (выпучивания) дифрагмы не допускали значительных перемещений газовых объемов. Кроме того желательно, чтобы натянувшаяся от выпучивания дифрагма подходила к оболочке по касательной.



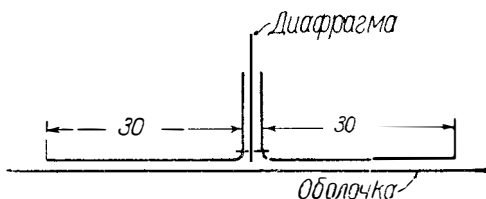
Фиг. 98. Дифрагма в виде сферического сегмента.

Один из геометрических методов образования дифрагм заключается в следующем: задаемся некоторой максимальной стрелой провеса дифрагмы по оси судна. Откладывая эту стрелу от выбранного поперечного сечения оболочки по ее оси, проводим дугу круга через конец стрелы и точки пересечения оболочки с плоскостью указанного поперечного сечения. Эта дуга круга пересечет оболочку под каким-то острым углом. Чтобы сгладить этот угол, проводим некоторым, выбранным по конструктивным соображениям, радиусом дугу круга, касательную к оболочке и к поверхности дифрагмы. Полученная таким образом дифрагма представляет собой сферический сегмент, ограниченный частью кругового кольца (тора). Введение допол-

нительного закругления вызывает увеличение теоретической стрелы провеса дифрагмы, что должно учитываться при предварительном назначении величины этой стрелы.

Такая дифрагма раскраивается радиальными полотнищами, сходящимися в центре на круглую шайбу. Общий вид дифрагмы изображен на фиг. 98.

Дифрагмы этого типа применялись на первых оболочках дирижаблей СССР-В2 и В3, причем они изготовлялись из непрорезиненного перкаля типа Б. Соединение дифрагмы с оболочкой осуществлялось (фиг. 99) с помощью лент усиления из однослойной прорезиненной материи, наклеенных и пришитых к дифрагме с обеих сторон. Таким образом при любом отклонении дифрагмы склейка одной стороны работает на сдвиг. Ленты усиления изготовлялись из скошенной под углом в 45° материи, чтобы допускать свободное растяжение материи оболочки. Ленты усиления присоединялись к оболочке только клеем с шириной пересклейки в 30 мм с каждой стороны.



Фиг. 99. Пришив дифрагмы к оболочке.

Описанная конструкция дифрагмы оказалась неудачной, так как она допускала значительные перемещения газа при выпучивании

диафрагмы. Кроме того, длина периметра диафрагм равна длине окружности соответственного поперечного сечения оболочки. Это дает удобное соединение диафрагмы с оболочкой, но со временем вызывает неприятное стягивание оболочки, увеличивающееся с увеличением растяжения материи оболочки.

Во втором варианте оболочек дирижаблей СССР-В2 и СССР-В3 был применен другой метод образования диафрагм, заимствованный из итальянской практики конструирования диафрагм полужестких дирижаблей. Для определения формы такой диафрагмы строят формы поперечного сечения оболочки, в плоскости которого находится диафрагма, при всех возможных сверхдавлениях и степенях выполнения баллонета. Обычно принимают сверхдавления: ноль внизу сечения, нормальное полетное сверхдавление и сверхдавление автоматического открытия газовых клапанов. При этом для каждого сверхдавления берут два случая: оболочка полностью выполнена газом и баллонет полностью выполнен воздухом. Поперечные сечения, отвечающие указанным условиям, накладываем одно на другое и проводим огибающую кривую. Эта огибающая кривая и будет представлять собой форму средней, так называемой плоской части диафрагмы. Очевидно, что такая диафрагма при равных давлениях в соседних отсеках ни на каких режимах не будет стягивать оболочку.

Периметр такой диафрагмы будет больше периметра сечения оболочки, и присоединение диафрагмы возможно только с помощью значительной ее посадки. При больших расхождениях в длинах периметров (до 10—14%) такая посадка трудно выполнима. Поэтому применяют промежуточный элемент — так называемую «фашу». Фаша представляет собой ленту из той же материи, что и сама диафрагма, шириной в 300—400 мм. Длина ленты берется равной среднеарифметическому между длинами периметра сечения оболочки и периметра плоской части диафрагмы. Таким образом величина посадки может быть разнесена на два соединения: посадка фаши по оболочке и посадка диафрагмы по фаше.

Для осуществления этого внутренняя сторона фаши (фиг. 15) размечается через 1 м и к ней присоединяется плоская часть диафрагмы, периметр которой предварительно размечается через 1 м + + процент посадки. Другая сторона фаши размечена через 1 м + + процент посадки и присоединяется к оболочке, периметр которой размечен через 1 м. Чтобы избежать отрывающих усилий по линии присоединения фаши к оболочке при выпучивании диафрагмы, это соединение производится посредством вспомогательной двойной фаши (фиг. 100). В сечении двойная фаша имеет вид равнобедренного треугольника с углом при вершине в 90° и сторонами 60—100 мм. К вершине прямого угла присоединяется одинарная фаша, а стороны двойной фаши присоединяются к оболочке, отгибаясь под углом в 45°.

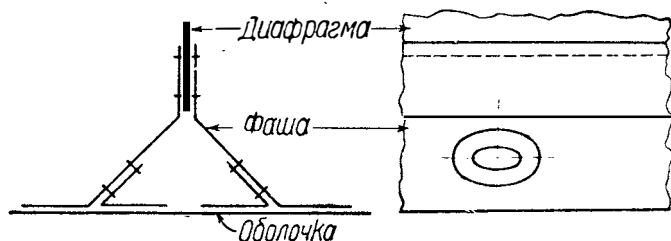
Плоская часть диафрагмы раскраивается на прямые полотнища, идущие под углом 45° к вертикальной оси симметрии сечения. Шов диафрагмы делается обычно с пересклейкой в 10 мм, прошивается одной строчкой и закрывается с одной стороны лентой. Одинарная фаша раскраивается обычно в виде прямоугольной полосы. Соедине-

ние плоской части с фашей делается одинаковым с соединением полотен плоской части диафрагмы.

Соединение одинарной фашы с двойной фашей производится так: одинарная фаша заводится между сторонами двойной фашы, обе стороны двойной фашы приклеиваются к одинарной фаше, и соединение прошивается одной или двумя строчками; строчки заделываются с одной стороны лентой.

Перед соединением одинарной фашы с двойной каждая сторона последней отгибается на 20—30 мм и приклеивается к оболочке. Этот отгиб производится в наружную сторону, а с внутренней стороны наклеивается с той же пересклейкой лента, захватывающая фашу и оболочку. Это соединение не прошивается. Материя для одинарной и двойной фаш применяется та же, что для плоской части, но для двойной фашы она скашивается под углом в 45° .

Так как двойная фаша образует замкнутый объем, то для соединения этого объема с внутренним пространством необходимо по одной стороне двойной фашы проделать ряд отверстий. Отверстия располагаются обычно по всей длине фашы через каждые 300—500 мм. Они



Фиг. 100. Схема фашы диафрагмы дирижабля СССР-В2.

имеют диаметр 15—20 мм и усиливаются наложенной матерчатой шайбой. В местах пришива баллонета двойная фаша постепенным уменьшением угла при вершине сводится на одинарную. По линии пришива торца баллонета на диафрагму накладывается полоса однослойной материи для усиления этого места и получения газонепроницаемости. Для прохода из одного отсека оболочки в другой при продувке оболочки воздухом, в диафрагме выше линии пришива баллонета, обычно с левого борта, делается отверстие диаметром в 550 мм. Это отверстие или заделывается апендиксом, завязываемым перед газонаполнением, или просто усиливается забортованной веревочкой и заклеивается перед газонаполнением с двух сторон матерчатыми шайбами.

Как было сказано выше, для выравнивания давления в соседних отсеках в диафрагмах делаются отверстия. В настоящее время нет еще методов, позволяющих определить число и площадь этих отверстий. Поэтому здесь приходится пользоваться данными цостроенных оболочек. Так например, диафрагма дирижабля СССР-В3 при диаметре оболочки $d = 15$ м имела пять отверстий с диаметром в 100 мм. Эти отверстия, усиленные по краям забортованным шпагатом, следует располагать так, чтобы при всех положениях баллонета было открыто не менее одного отверстия.

Для диафрагм применяют однослойную прорезиненную материю с газопроницаемостью порядка $20\text{--}30 \text{ л/м}^2$ в сутки. Материя применяется неокрашенная и прорезиненная с одной стороны. Для дирижабля СССР-ВЗ применялась материя из легкого перкаля, весом 140 г/м^2 , с временным сопротивлением в $500\text{--}600 \text{ кг/м}$.

Итальянский тип диафрагм, полностью гарантируя от стягивания оболочки, дает минимальные перемещения газа. поэтому диафрагмы этого типа вполне могут быть рекомендованы для мягких и полужестких дирижаблей.

§ 6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДВЕСКИ

Для соединения оболочки и гондолы в мягких дирижаблях нормального типа служит система строп, нижние концы которых крепятся к гондоле, а верхние с помощью той или иной системы спусков и креплений к оболочке. Назначение подвески — передать вес гондолы со всем ее содержимым на оболочку. Требования, предъявляемые к подвеске, можно сформулировать следующим образом:

1) подвеска должна распределять вес гондолы по оболочке возможно более равномерно с тем, чтобы вертикальные составляющие натяжений строп не вызывали значительных изгибающих моментов и перерезывающих сил в оболочке;

2) схема подвески и распределение натяжений между стропами должны обеспечить возможно меньшую изменяемость положения гондолы относительно оболочки при всех возможных полетных режимах судна;

3) поперечные составляющие натяжений строп подвески не должны вызывать значительных искажений поперечных сечений оболочки (не должны вызывать сжатия оболочки);

4) продольные составляющие натяжения строп не должны вызывать в оболочке больших изгибающих моментов;

5) число строп для уменьшения аэродинамического сопротивления должно быть наименьшим;

6) схема подвески должна допускать ее простую регулировку во время эксплуатации судна;

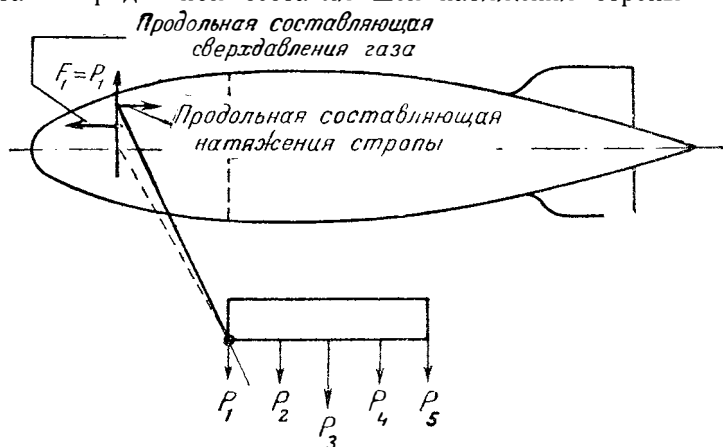
7) полная высота судна должна быть минимальной.

Эти требования в большей части оказываются взаимно противоречащими друг другу, и поэтому решение задачи выбора схемы подвески является всегда компромиссным.

В самом деле, первое требование равномерности распределения нагрузки по оболочке прямо противоположно пятому — уменьшению числа строп. Требование уменьшения поперечной составляющей натяжения строп прямо противоположно требованию уменьшения общей высоты судна. Выбор схемы подвески, как и всякая инженерная задача, требует от конструктора наиболее удачного согласования всех требований с тем, чтобы, выгадывая на одном, меньше проигрывать на другом.

Трудно дать какие-либо общие правила установления схемы подвески, так как это связано с общей схемой судна, да и при одной и той же схеме можно иметь ряд различных решений. Из существующих

литературных источников только Летурнер («Курс аэростатики», перевод М. Н. Канищева) делает попытку дать общий метод выбора схемы подвески. Для этого Летурнер предлагает определить вертикальные нагрузки на узлы подвески gondoly, рассматривая ее как разрезную балку, имеющую опорами указанные узлы. Имея из общих расчетов эпюру свободных подъемных сил по оболочке без учета веса gondoly, мы можем отделить, идя от носа к корме, такой отсек оболочки, свободная подъемная сила которого F_1 равнялась бы вертикальной нагрузке первого узла gondoly P_1 . Направляя стропу подвески (фиг. 101) так, чтобы она прошла на боковой проекции через точку пересечения оси судна с равнодействующей свободных подъемных сил отделенного отсека, мы погашаем свободную подъемную силу отсека вертикальной составляющей натяжения стропы. Для уничтожения момента от продольной составляющей натяжения стропы Летурнер



Фиг. 101. Выбор направления стропы по Летурнеру.

предлагает определить в данном сечении момент от сверхдавления газа и перенести, изменяя угол наклона, точку пересечения стропы с вертикалью равнодействующей свободных подъемных сил так, чтобы момент продольной составляющей натяжения стропы был бы равен по величине и противоположен по знаку моменту от сверхдавления газа. Определив направление первой стропы, отделяем второй отсек оболочки, свободная подъемная сила которого равняется нагрузке второго узла gondoly, и методом, аналогичным описанному, находим направление второй стропы. Эту операцию повторяем последовательно для всех узлов gondoly. Натяжение каждой стропы затем легко определяется по ее направлению и известной вертикальной составляющей этого натяжения. Если мы хотим из одного узла gondoly направить не одну, а несколько строп, то перед определением направления каждой стропы надо задаться распределением вертикальной нагрузки между отдельными стропами.

При описанной системе определения направления строп все передние стропы будут иметь наклон к носу оболочки, а все задние — к корме. Это является одним из основных недостатков метода Летур-

нера. Действительно, при диференте судна на нос все передние стропы будут ослабевать, и большая часть веса гондолы передастся через задние стропы на корму оболочки. При диференте судна на корму получается подобное же явление, но с передачей большей части нагрузки на нос. В обоих случаях будут иметь место некоторые перемещения гондолы, вредно сказывающиеся на проводках управления и общей центровке судна.

Этот метод был удобен для дирижаблей с длинной гондолой и большим числом подвесных строп. В современных дирижаблях длина гондолы составляет $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{5}$ от длины оболочки и с каждого борта имеется 4,5 и до 6 точек креплений строп. Из каждого узла гондолы приходится пускать 2—3 стропы, так что здесь нельзя применить полностью метод Летурнера.

Можно рекомендовать следующий метод выбора схемы подвески. Из крайних узлов гондолы и узла, расположенного близ ее центра тяжести, следует пускать стропы, близкие к вертикали, что в значительной степени облегчит регулировку подвески, позволяя установить гондолу без продольных смещений параллельно оси оболочки. При диферентах судна и разгрузке наклонных строп крайние вертикальные стропы будут препятствовать вращательным перемещениям гондолы. Крайние носовые и кормовые стропы можно назначить, пользуясь методом Летурнера, но не по нагрузке на узлы гондолы, а беря свободные подъемные силы выбранных отсеков оболочки и уравнивая их натяжениями указанных строп. Так могут быть назначены по две стропы с носа и с кормы. Остальные стропы направляют, исходя из конструктивных соображений и размещения винтовой группы. Не следует проводить строп ближе, чем на 500 мм от площади, ометаемой винтами.

Для устойчивого положения гондолы надо иметь так называемые «мартингалы», т. е. стропы, идущие от носа гондолы к корме оболочки и от кормы гондолы к носу оболочки. Желательно, чтобы точки крепления на оболочке носовых и кормовых мартингалов совпадали друг с другом, так как в этом случае горизонтальные составляющие натяжений мартингалов будут частично или полностью погашаться, уменьшая продольные нагрузки оболочки. Вообще же должно быть больше строп, идущих от кормы вниз к носу, так как эти стропы воспринимают на себя тягу винтов и особенно сильно нагружаются при тяге винтов и диферентах судна на нос.

Одним из основных вопросов выбора схемы подвески является установление расстояния между гондолой и оболочкой. По американским данным (Блекмор и Пэгон «Нежесткие воздушные суда») рекомендуется помещать гондолу так, чтобы расстояние между окружностью, описываемой концом лопасти винта, и оболочкой было бы минимум 600 мм и максимум 760 мм. По нашему мнению это условие нерационально. На форму поперечного сечения сильно влияет угол, образуемый стропами с вертикальной осью этого сечения. При сильно притянутой гондоле угол строп с вертикалью становится очень велик, следовательно становятся значительными и поперечные составляющие натяжений строп, сжимающие оболочку. Передние и задние стропы при притянутой гондоле получают сильно наклоненными в продоль-

ном направлении, вследствие чего они дают значительные горизонтальные составляющие. Отсюда очевидно, что помимо расстояния между концом лопасти винта и оболочкой, приближение гондолы к оболочке должно определяться углом, образуемым стропами с вертикалью в поперечных сечениях. Этот угол желательно иметь не более $25-30^\circ$.

После такого выбора высоты подвески гондолы проверяют расстояние между оболочкой и концом винта, и в случае необходимости увеличивают удаление гондолы от оболочки. Уменьшать найденное расстояние для доведения промежутка между винтом и оболочкой до 760 мм не следует. На практике был случай, когда подтягивание гондолы к оболочке на 0,8 м, вызванное габаритами эллинга, привело к недопустимым деформациям оболочки.

Выбрав так или иначе схему подвески, следует определить усилия по стропам и построить эпюру изгибающих моментов от горизонтальных и вертикальных натяжений строп подвески. Наложив эту эпюру на ранее построенные эпюры изгибающих моментов, определяем необходимое минимальное сверхдавление в оболочке, пользуясь формулой (145). При неудовлетворительных результатах меняем схему подвески и последовательным повторением этих операций получаем удовлетворяющие нас результаты. Окончательная проверка рациональности схемы подвески производится на гидростатических моделях.

Перед разбором методов расчета подвески нужно установить расчетные случаи. На основании работ Дирижаблестроя такими случаями являются следующие:

- 1) ось судна горизонтальна, гондола имеет максимальное загружение, тяги винтов нет;
- 2) ось судна горизонтальна, гондола имеет максимальное загружение, максимальная («на месте») тяга винтов;
- 3) дифферент судна $+30^\circ$ (на корму), гондола с максимальным загружением, тяги винтов нет;
- 4) дифферент судна -30° (на нос), гондола с максимальным загружением, тяга винтов максимальная («на месте»).

Эти четыре расчетных случая охватывают нормальные и наиболее тяжелые, но практически возможные, полетные режимы.

Так как число строп подвески с одного борта обычно превышает три, то система подвески является статически неопределимой и требующей специальных методов расчета. Один из таких методов, предложенный Берджесом, опубликован в репорте № 115 НАСА.

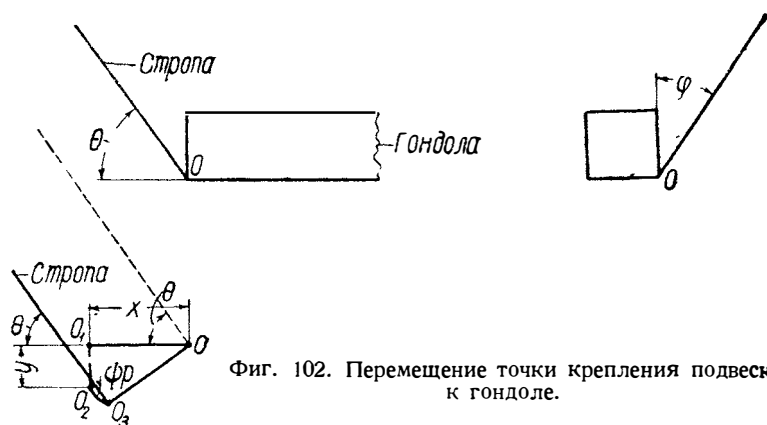
Сущность метода заключается в том, что, давая гондоле некоторые произвольные перемещения, мы определяем натяжения в стропах, возникающие вследствие этих перемещений в функциях величин последних. Написав затем уравнения равновесия внешних и внутренних сил, определяем величины действительных перемещений, вызванных данными внешними силами. По этим перемещениям находим и действительные натяжения строп. При этом допускается, что гондола и оболочка абсолютно жестки.

Примем обозначения:

T — натяжение стропы;

E — модуль упругости троса стропы;

ω — площадь сечения троса;
 l — длина стропы;
 θ — угол между проекцией троса на продольную плоскость симметрии и горизонталью (фиг. 102);
 φ — угол между проекцией троса на поперечную плоскость и вертикалью;
 ρ — плечо натяжения троса относительно центра тяжести гондолы;
 x — перемещение гондолы в плоскости симметрии корабля, параллельное его продольной оси;
 y — перемещение гондолы в той же плоскости, перпендикулярное к продольной оси;
 ψ — угловой поворот гондолы вокруг ее центра тяжести;
 A — продольная составляющая внешних сил;
 B — поперечная составляющая внешних сил;
 M — момент внешних сил относительно центра тяжести гондолы.



Фиг. 102. Перемещение точки крепления подвески к гондоле.

Величины φ , θ и ρ берутся непосредственно с теоретического чертежа подвески, а истинные длины l определяются на том же чертеже обычными методами начертальной геометрии. Величинами ω и E нужно предварительно задаться.

Пусть к гондоле, уравновешенной на своей подвеске, прикладываются какие-то внешние силы, дающие указанные выше составляющие A и B , и момент M . Под влиянием изменения натяжений тросов, вызванного приложением внешних сил, тросы получают некоторые упругие удлинения, вследствие чего гондола получит некоторые перемещения, обозначаемые x , y и ψ .

На фиг. 102 изображены указанные полные и составляющие перемещения точки крепления подвески, причем вследствие большой длины троса и малости перемещений, углы, образуемые тросом с вертикалью и горизонталью, можно считать неизменяющимися. Чтобы по продольному перемещению x получить удлинение троса λ , нужно учесть угол γ наклона троса к направлению перемещения. Но

$$\cos \gamma = \cos \theta \cdot \cos \varphi,$$

Поэтому

$$\lambda_x = x \cdot \cos \theta \cdot \cos \varphi.$$

Аналогично:

$$\lambda_y = y \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi$$

и

$$\lambda_\psi = \rho \cdot \sin \psi \cdot \cos \varphi.$$

Поэтому вследствие продольного перемещения $o_1 o_1 = x$ трос получит натяжение:

$$T_{\text{прод}} = \frac{E\omega}{l} x \cdot \cos \theta \cdot \cos \varphi. \quad (176)$$

От поперечного перемещения $o_1 o_2 = y$ трос получит натяжение:

$$T_{\text{поп}} = \frac{E\omega}{l} y \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi. \quad (177)$$

От вращательного перемещения $o_2 o_3 = \rho \sin \psi$ трос получит натяжение:

$$T_{\text{вр}} = \frac{E\omega}{l} \cdot \rho \cdot \sin \psi \cdot \cos \varphi. \quad (178)$$

Разложим каждое из полученных натяжений на составляющие.

1. Продольные составляющие натяжений от всех трех перемещений:

$$T_{\text{прод}}^r = T_{\text{прод}} \cos \theta \cdot \cos \varphi = \frac{E\omega}{l} x \cdot \cos^2 \theta \cdot \cos^2 \varphi; \quad (179)$$

$$T_{\text{поп}}^r = T_{\text{поп}} \cos \theta \cdot \cos \varphi = \frac{E\omega}{l} y \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot \cos^2 \varphi; \quad (180)$$

$$T_{\text{вр}}^r = T_{\text{вр}} \cdot \cos \theta \cdot \cos \varphi = \frac{E\omega}{l} \rho \sin \psi \cdot \cos \theta \cdot \cos^2 \varphi. \quad (181)$$

2. Поперечные составляющие натяжений от всех трех перемещений:

$$T_{\text{прод}}^b = T_{\text{прод}} \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi = \frac{E\omega}{l} x \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \cdot \cos^2 \varphi; \quad (182)$$

$$T_{\text{поп}}^b = T_{\text{поп}} \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi = \frac{E\omega}{l} y \sin^2 \theta \cdot \cos^2 \varphi \quad (183)$$

$$T_{\text{вр}}^b = T_{\text{вр}} \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi = \frac{E\omega}{l} \rho \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta \cos^2 \varphi. \quad (184)$$

Моменты относительно центра тяжести гондолы от всех натяжений:

$$M_{\text{прод}} = T_{\text{прод}} \cdot \rho \cdot \cos \varphi = \frac{E\omega}{l} x \rho \cdot \cos \theta \cdot \cos^2 \varphi; \quad (185)$$

$$M_{\text{поп}} = T_{\text{поп}} \cdot \rho \cdot \cos \varphi = \frac{E\omega}{l} y \cdot \rho \cdot \sin \theta \cdot \cos^2 \varphi; \quad (186)$$

$$M_{\text{вр}} = T_{\text{вр}} \cdot \rho \cdot \cos \varphi = \frac{E\omega}{l} \rho^2 \cdot \sin \psi \cdot \cos^2 \varphi. \quad (187)$$

Приведенные значения продольных и поперечных составляющих и моментов должны быть найдены для всех строп подвески одного борта. Соответственные стропы другого борта, очевидно, будут давать такие же составляющие и моменты.

Просуммировав соответственные выражения для всех строп подвески, мы будем иметь:

$$\Sigma T_{\text{прод}}^r = a_1 x; \Sigma T_{\text{прод}}^b = a_2 x; \Sigma M_{\text{прод}} = a_3 x;$$

$$\Sigma T_{\text{поп}}^r = b_1 y; \Sigma T_{\text{поп}}^b = b_2 y; \Sigma M_{\text{поп}} = b_3 y;$$

$$\Sigma T_{\text{вр}}^r = m_1 \psi; \Sigma T_{\text{вр}}^b = m_2 \psi; \Sigma M_{\text{вр}} = m_3 \psi.$$

Здесь коэффициенты a_1 , b_1 , m_1 , a_2 , b_2 и т. д. являются известными величинами. Составим по этим суммам три уравнения равновесия:

$$a_1 x + b_1 y + m_1 \psi = -A; \quad (189)$$

$$a_2 x + b_2 y + m_2 \psi = -B; \quad (190)$$

$$a_3 x + b_3 y + m_3 \psi = -M. \quad (191)$$

Решение трех этих уравнений относительно x , y и ψ не представляет никаких затруднений. Если x , y или ψ получатся отрицательными, то это покажет, что соответственные перемещения гондолы будут иметь направления, обратные предположенным.

Найдя соответствующие перемещения, находим полное значение удлинения каждого троса.

От перемещения x деформация троса равна:

$$\lambda_x = x \cdot \cos \theta \cdot \cos \varphi;$$

от перемещения y деформация троса равна:

$$\lambda_y = y \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi;$$

от перемещения ψ деформация троса равна:

$$\lambda_\psi = p \cdot \sin \psi \cdot \cos \varphi;$$

суммарная деформация троса будет:

$$\lambda = (x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta + p \cdot \sin \psi) \cdot \cos \varphi.$$

Отсюда получаем натяжение троса:

$$T = \frac{E\omega}{l} \cdot \lambda = \frac{E\omega}{l} (x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta + p \cdot \sin \psi) \cdot \cos \varphi. \quad (192)$$

Если для какого-либо троса натяжение получит отрицательное значение, то это покажет, что трос сжат. Если это сжатие окажется больше растяжения, вызываемого весом гондолы при горизонтальном аэростатическом полете, то нужно выкинуть составляющие этого троса из коэффициентов a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , b_3 , m_1 , m_2 , m_3 и заново составить и

решить уравнения равновесия. Расчет удобно вести, пользуясь специально составленными таблицами (табл. X).

Таблица X
Расчет подвески

№ по пор.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	№ стропы	l	Θ	$\sin \Theta$	$\sin^2 \Theta$	$\cos \Theta$	$\cos^2 \Theta$	φ	$\cos \varphi$	$\cos^2 \varphi$	ρ	$\cos \Theta \cdot \sin \Theta$	$\frac{E \cdot \omega}{l}$
		см	°	—	—	—	—	—	—	—	см	—	кг/см
1													
2													

№ по пор.	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	$\cos^2 \Theta \cos^2 \varphi$	(14) (13)	(12) (10) (13)	(4) (10) (13) p	(12) (10) (13)	(5) (10) (13)	(4) (10) p	(6) (10) (13) p	(4) (10) (13) p
	—	кг/см	кг/см	кг/см	кг/см	кг/см	кг	кг/см	кг

$$\Sigma(15)=a_1; \Sigma(16)=a_2; \Sigma(17)=a_3; \Sigma(18)=b_1; \Sigma(19)=b_2; \Sigma(20)=b_3; \Sigma(21)=m_1; \Sigma(22)=m_2$$

№ по пор.	23	24	25	26	27	28	29
	(10) (13) p	$x \cdot \cos \Theta$	$y \cdot \sin \Theta$	$\rho \cdot \sin \psi$	(24) (25) (26)	(27) $\cos \varphi$	$T = (13) (28)$
	кг	см	см	см	см	см	кг

$$\Sigma(23) = m_3$$

С самого начала надо установить правило знаков для угла θ и плеча ρ и выдерживать это правило в течение всего расчета.

Недостатком метода Берджеса является то, что при определении натяжений от веса гондолы наибольшую нагрузку получают более жесткие тросы, т. е. тросы, имеющие меньшую длину и большую площадь сечения. Такие тросы обычно идут вертикально к средней части оболочки. Следовательно, вся нагрузка от веса гондолы распределится в основном на участке оболочки, немного превышающем длину гондолы, почему перерезывающие силы и изгибающие моменты будут очень велики. При этом даже большие сверхдавления не избавят оболочку от значительных прогибов.

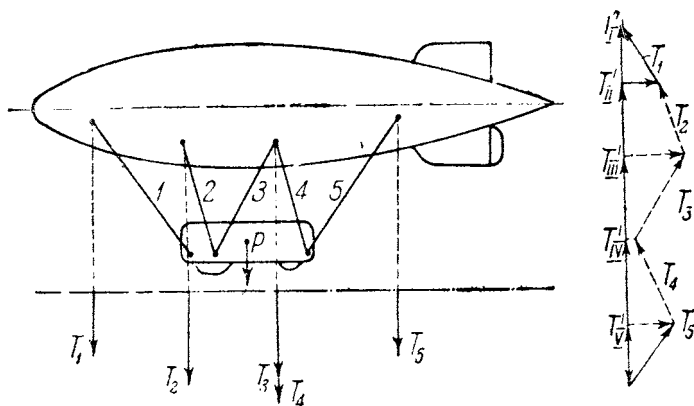
При практической регулировке подвески дирижабля никогда не выдерживают таких получающихся из расчета натяжений, а ведут регулировку так, чтобы получить равномерное распределение нагрузки по оболочке и избежать ее деформаций даже на небольших сверхдавлениях. Это проверяется наблюдением за плавностью линии экваториальных швов.

Поэтому расчет подвески следует вести в такой последовательности.

Установить схему подвески и определить ее геометрию (величины углов, длин и т. д.).

Определить по методу Летурнера натяжения крайних носовых и кормовых строп для случая горизонтальной оси оболочки и полного загрузки гондолы при отсутствии тяги.

Определить сумму вертикальных составляющих этих натяжений, вычесть ее из веса гондолы и найти горизонтальные составляющие тех же натяжений.



Фиг. 103. Графическое определение натяжения строп.

Распределить оставшуюся нагрузку по остальным стропам, стараясь равномерно загружать оболочку и проверяя равновесие сил и моментов. Распределение удобно делать графически, строя для натяжения строп силовой многоугольник, как это показано на фиг. (103).

На этой фигуре сплошными стрелками показаны натяжения T_1 и T_5 крайних строп, определенные по методу Летурнера. Для определения натяжения остальных строп T_2 , T_3 и T_4 из конца вектора T_5 и из начала вектора T_1 проводим прямые, соответственно параллельные направлению строп 2 и 4. Откладывая по одной из этих прямых произвольно выбранное натяжение стропы, проводим из конца полученного вектора прямую, параллельную направлению стропы 3, до пересечения с другой прямой. Таким образом получаем величины натяжений T_2 , T_3 и T_4 , при которых условия равенства нулю сумм проекций являются удовлетворенными.

Равенство нулю моментов этих натяжений и веса гондолы надо проверить аналитически или графически, путем построения веревочного многоугольника.

Определив натяжение строп, строим эпюры перерезывающих сил и изгибающих моментов для оболочки от вертикальных и горизонтальных составляющих натяжений строп, считая их приложенными в точках касаний строп к оболочке. Складывая эти эпюры с первоначально построенными, производим расчет оболочки на изгиб и определяем минимальное сверхдавление.

В случае необходимости меняем схему подвески или натяжения строп. При благоприятных результатах составляем регулировочную таблицу натяжений.

Для всех остальных, указанных выше расчетных случаев определяем изменение натяжения строп, пользуясь методом Берджеса. При многих выходящих из работы или перенапряженных тросах меняем схему или натяжения от веса гондолы и повторяем весь расчет снова.

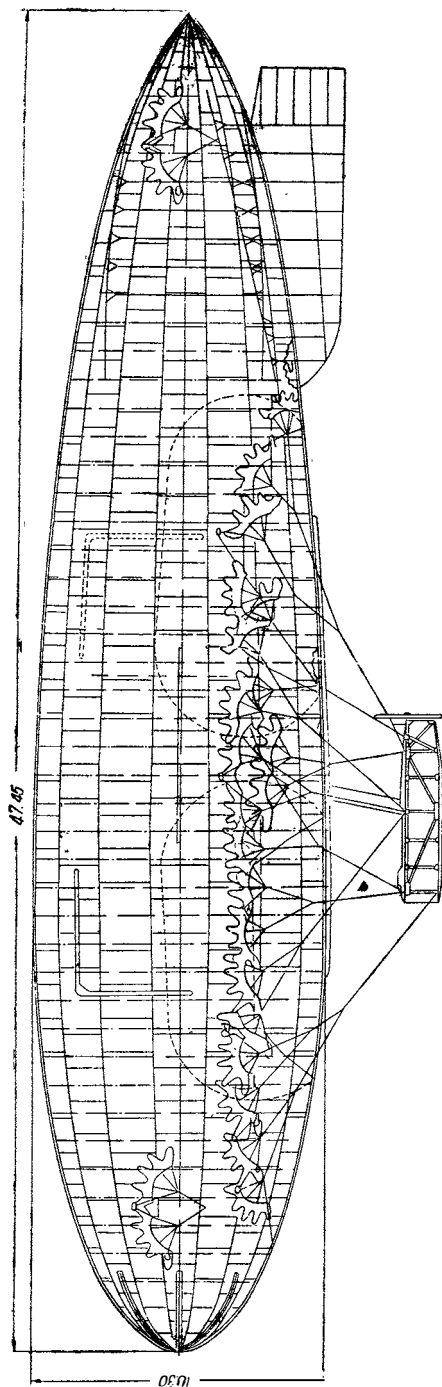
§ 7. КОНСТРУКЦИЯ ПОДВЕСКИ

Конструирование подвески следует начинать с выбора системы спусков, в которые переходят стропы. Применение спусков позволяет разнести сосредоточенную нагрузку от натяжения стропы на большее число точек оболочки. Увлечение большим числом спусков можно объяснить лишь несовершенством крепления строп к оболочке, например посредством сплошного брезентового пояса, и традициями, оставшимися от прежних конструкций. При удачной конструкции указанных креплений, способных воспринять нагрузку от стропы и равномерно распределить ее на значительном протяжении оболочки, число спусков можно свести до минимума, а иногда и совсем отказаться от них.

При перепроектировании дирижабля СССР-В4 «Комсомольская правда» благодаря замене лап прежней конструкции лапами стандартного американского типа, удалось устранить сложную систему спусков, видную на фиг. 104, и ограничиться стропами, непосредственно крепящимися к лапам. Лишь в кормовых стропях было поставлено по одному спуску. Этим удалось снизить мертвый вес и аэродинамическое сопротивление и избавиться от кропотливой и сложной регулировки спусков.

Американские мягкие дирижабли обычно имеют на каждой стропе по одному спуску. Советские дирижабли 5000 м³ и 6500 м³ также имели по одному спуску на каждой стропе. Можно считать, что в дирижаблях объемом до 3000—3500 м³ стропы можно непосредственно крепить к лапам. Для больших кубатур следует вводить один спуск и передавать натяжение стропы на две лапы. Угол, образуемый каждым спуском со стропой, следует выбирать от 25 до 35°, чтобы не получить значительных натяжений в спусках и чересчур широкого размещения лап.

Выбрав число спусков и углы между ними, можно простым разложением сил определить натяжение каждого спуска и подобрать материал и сечения спусков и строп. Для строп почти всегда выбирают стальной трос двойного плетения. Сечение всех строп по соображениям удобства производства и эксплуатации берется одинаковым и подбирается для наиболее нагруженной стропы, при худшем рас-



Фиг. 104. Дирижабль «Комсомольская правда».

четном случае с запасом прочности 4—5. Прежде спуски делались из льняных веревок, но в настоящее время из-за эксплуатационной ненадежности веревок и их значительных деформаций спуски делаются так же из мягкого стального троса двойного плетения. Запас прочности спусков должен быть больше запаса прочности стропы, вследствие ослабления троса спусков от перегиба при пропуске через коуш стропы. Это увеличение запаса прочности нужно брать порядка 30%.

Для спусков удобно применять тот же трос, что и для строп. Тросы двойного плетения берут потому, что они теряют меньше прочности при перегибах.

Вся заплетка тросов подвески должна быть произведена на коушах, согласно соответствующему ОСТ. Соединение строп со спуском производится простым пропусканием спуска сквозь коуш, заплетенный в конец стропы. Применять разделенные спуски, соединяющиеся с концом стропы самостоятельной для каждого спуска заплеткой, не рекомендуется, так как при этом нельзя гарантировать одинакового натяжения обоих спусков, особенно при отклонении стропы от первоначального направления.

Для регулировки строп в них обычно включают тандеры. Для более широкой регулировки желательно включать в стропу два тандера, заплетенных с промежуточной вставкой около 1000 мм длиной. Тогда, помимо хода тандеров, можно производить удлинение или укорочение стропы путем замены вставок. При хороших тандерах можно иметь несколько запасных вставок, заранее заплетенных на длины, различающиеся между собой на ход тандера. В этом случае следует лишь соблюдать определенное правило в расположении тандеров. Так например, можно условиться: приплетать к стропам со стороны гондолы ушки тандеров с правой резьбой; к нижнему концу вставки — ушко с левой резьбой; к верхнему концу вставки — ушко с правой резьбой и к верхней части стропы — ушко с левой резьбой.

Первый тандер помещают обычно на расстоянии 800—1000 мм от коуша, стоящего на серье гондолы. Спуски и верхняя часть строп вблизи оболочки должны обматываться лентой из прорезиненной материи во избежание повреждений оболочки.

Для присоединения такелажа к оболочке служат специальные конструкции, которые принято называть лапами. Лапы воспринимают сосредоточенную нагрузку стропы (или спуска) и распределяют ее по оболочке так, чтобы суммарное напряжение в оболочке (от сверхдавления газа, других внешних сил и подвески) не превышало бы допустимых величин. В соответствии с этим расчет лапы следует начинать с определения длины, по которой лапа должна передавать натяжение оболочке.

Пусть: P — нагрузка на лапу, действующая при самом тяжелом случае; l — длина, на которую распределяется натяжение, приходящееся на лапу, R — временное сопротивление материи оболочки и k — необходимый запас прочности.

При этих обозначениях получаем:

$$l = \frac{P \cdot k}{R}. \quad (193)$$

Полное напряжение у лапы обычно допускают в два раза больше напряжения, получающегося в том же месте без учета усилия P . Таким образом коэффициент k в формуле (193) должен быть принят таким же, который брался при подборе материи оболочки.

Указанное увеличение напряжения можно допустить потому, что под лапой с внутренней стороны оболочки обычно наклеивается усиление.

Расчеты на прочность самих лап зависят от их конструкции и будут приводиться при описании отдельных типов лап.

На фиг. 105 изображен чертеж лапы подвески дирижабля «Комсомольская правда». Воспринимающим элементом этой лапы являются четыре тесьмы из льняной ткани шириной в 55 мм, охватывающие железное кольцо специальной формы.

Все эти четыре тесьмы наклеены по некоторым кривым на трехугольный кусок материи. Этот кусок материи по дуге круга радиусом 900—950 мм приклеивается и пришивается к оболочке. Передача нагрузки происходит по этой дуге. Для лучшего распределения нагрузки, лапа заканчивается четырьмя фестонами из той же материи, что и основной треугольник. Эти фестоны наклеены на оболочку.

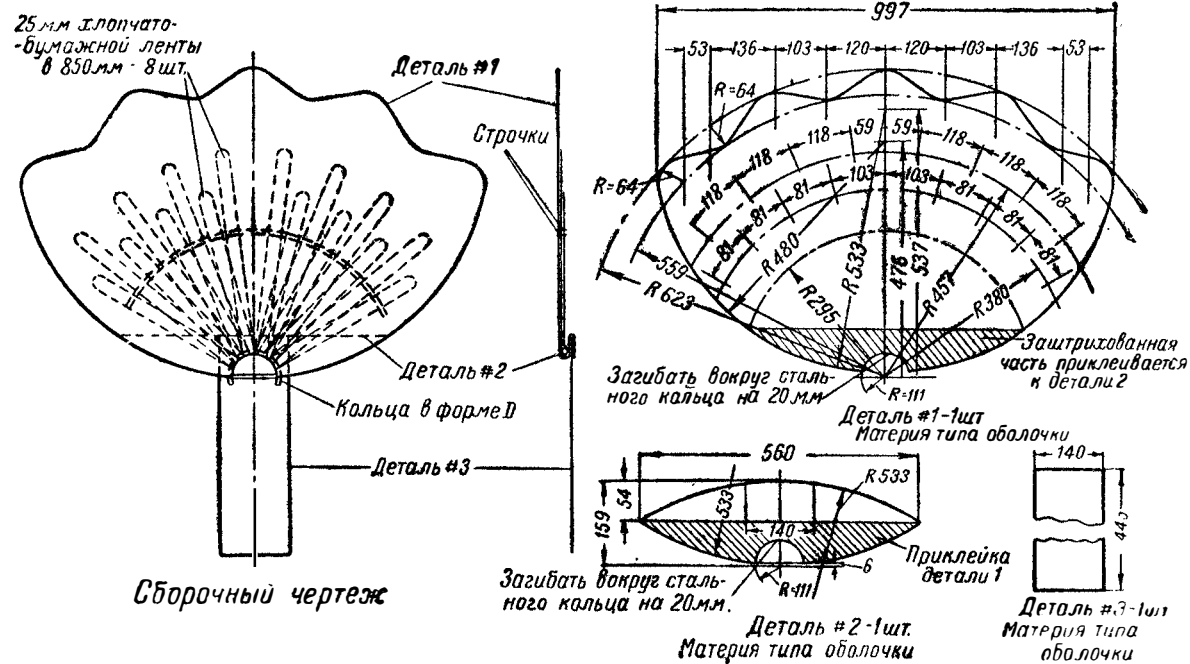
Крайние силовые ленты продолжают по центральной линии крайних фестонов и пересекаются с такой же лентой от соседней лапы. Место пересечения силовых лент усиливается наложенной на него шайбой диаметром 270 мм. Расчету в такой лапе поддается только определение необходимой длины дуги. Силовые ленты могут быть подобраны из предположения равномерного распределения нагрузки на все четыре ленты, но неопределенное понижение прочности от перегиба лент на кольце заставляет производить окончательную проверку прочности экспериментальным путем.

Распределение нагрузки по оболочке происходит неравномерно, так как жесткость лент намного больше жесткости узких промежутков материи. Учтя это, конструктор замкнул всю подвеску в один непрерывный пояс соединением крайних лент соседних лап.

Другими недостатками этой лапы являются быстрое изнашивание лент в местах перегибов на кольце и значительное аэродинамическое сопротивление отстоящей от оболочки треугольной части лапы. Соединение крайних лент соседних лап требует небольших расстояний между ними. Отсюда возникает необходимость увеличения числа лап, не могущих иметь большую ширину, и, следовательно, увеличение числа спусков и общее усложнение конструкции такелажа.

При реконструкции дирижабля «Комсомольская правда» 44 лапы (по 22 с каждого борта) такого типа были заменены 20 лапами стандартного типа (по 10 с каждого борта), непосредственно соединенными с гондолой стропами из стального 6-миллиметрового троса.

Британское адмиралтейство применяло для мягких дирижаблей времен империалистической войны лапы типа «Eta» (фиг. 106). Лапа состоит из матерчатой накладке, вырезанной снизу по дуге круга, а сверху обрезанной закругленными фестонами. Стальное кольцо в форме буквы D связывается с накладкой посредством большого числа шелковых или хлопчатобумажных лент, наклеенных на накладку и прошитых по середине их длины двумя строчками по дуге



Фиг. 105 Лампа типа «Eta».

круга. Нижняя часть лапы (ниже хорды, проведенной пунктиром) заклеивается с внутренней стороны матерчатой накладкой в виде двойного сегмента. Половина этой накладки (один сегмент) наклеивается на основную накладку, а вторая половина, перегнутая по пунктирной хорде на 180° , наклеивается на оболочку, препятствуя таким образом отрыву лапы. Самая нижняя прямоугольная матерчатая накладка, присоединенная к нижней части лапы, служит для предохранения оболочки от ее перетирания тросом подвески.

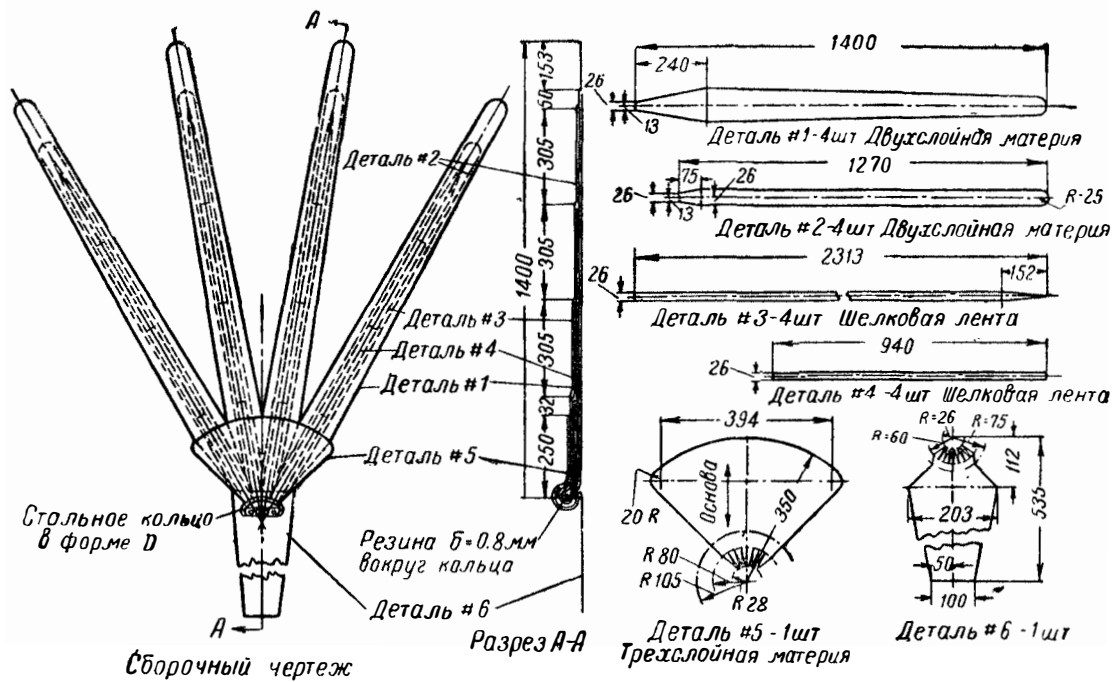
По сравнению с лапой предыдущего типа мы имеем здесь, вследствие большего (16 шт.) числа силовых лент, лучшие условия работы самых лент и более равномерное распределение нагрузки по поверхности лапы. Отстает от оболочки меньшая часть лапы (только нижний сегмент), и, следовательно, ее аэродинамическое сопротивление невелико. К недостаткам такой конструкции следует отнести невозможность проверять износ лент на кольце, необходимость строго соблюдать приложении нагрузки по оси симметрии лапы и трудность конструктивного выполнения этой лапы под большую нагрузку.

Передачу нагрузки на оболочку следует считать по длине хорды, стягивающей вершины крайних фестонов. Подбор прочности лент можно производить, считая нагрузку, равную двойному временному сопротивлению троса, подходящего к лапе, равномерно распределенной между всеми лентами. Окончательное суждение о прочности лапы можно составить лишь после испытания всей конструкции на длительную нагрузку.

Основные данные английской лапы типа «Eta» следующие:

Максимальная хорда верхней накладки	1000 мм
Радиус дуги, описанной вокруг вершин фестонов	620 "
" " нижней части накладки	510 "
" " круга строчек	280 "
Высота фестонов	60 "
Хорда нижнего сектора	560 "
Высота неприклеенного сектора	80 "
Ширина силовых лент	25 "
Длина силовых лент	845 "
Ширина нижней предохранительной накладки	135 "
Радиус круга длинных концов силовых лент	460 "
Длина нижней предохранительной накладки	450 "
Временное сопротивление лапы	1800—2000 кг
Вес лапы приблизительно	900—1100 г

Дальнейшее развитие лап с тесьмой представляет четырехпалая лапа с шелковой тесьмой, предложенная фирмой Гудири и изображенная на фиг. 107. В такой лапе, состоящей из четырех длинных пальцев, расходящихся из общего центра, нагрузка воспринимается четырьмя двойными лентами и распределяется на оболочку по пальцам, имеющим постепенно уменьшающуюся жесткость. Передача нагрузки происходит по всей площади пальцев, но можно считать, что нагрузка распределяется по дуге круга, описанного через вершины пальцев. Ленты из шелковой ткани повышенной прочности огибают кольцо и концы их приклеиваются по осям верхних пальцев, вырезанных из материи, типа применяемого для оболочки. Изнутри поверх шелковой ленты верхние пальцы заклеиваются более узкими



Фиг. 107. Лапа с шелковой тесьмой.

и короткими пальцами, также вырезанными из прорезиненной материи. Для постепенного уменьшения жесткости пальцев на каждый палец накладывается еще лента из прорезиненной материи, более короткая, чем предыдущие накладкы.

Все четыре пальца собираются на секторе из прорезиненной материи. Нижний край сектора разрезают на отдельные язычки, чтобы обогнуть их вокруг кольца. Нижняя накладка, служащая для предохранения оболочки от трения стропы, также имеет верхний край, вырезанный язычками, огибающими кольцо. Отгиб нижней накладки предохраняет лапу от отдиранья от оболочки (см. деталь 6 на фиг. 107).

Расчет этой лапы можно вести следующим образом. Ширина силовой ленты подбирается из условий, что нагрузка распределяется равномерно на все четыре двойные ленты. Так как ленты расходятся под углом к вертикали и ослабляются за счет перегиба на кольце, то запас прочности ленты надо выбирать в два раза больший, чем у стропы, подходящей к лапе. Таким образом прочность каждой ленты должна равняться одной четверти прочности стропы. Ширину пальца в месте его выхода из-под сектора выбирают, считая, что в этом месте вся нагрузка от ленты передается на палец. Зная прочность материи пальца, легко определить его необходимую ширину. Ширина пальца у конца обычно составляет половину ширины пальца у основания. Для определения длины пальцев допускаем, как было указано выше, что вся нагрузка распределяется по дуге круга, описанного через концы пальцев. Тогда:

$$\frac{\pi \cdot 3\alpha^{\circ} l_0}{180^{\circ}} = \frac{Pk}{R}$$

или

$$l_0 = 60 \frac{P}{R_{\pi\alpha^0}} k, \quad (194)$$

где l_0 — длина пальца от центра кольца;

α — угол между осями пальцев.

Основные характеристики такой лапы, применяемой фирмой Гудир для мягких дирижаблей, следующие:

Полная длина пальца	1420	мм
Угол между пальцами	20°	
Ширина пальца у сектора	120	мм
" у кольца	64	"
Длина нижнего пальца	1270	"
Ширина нижнего пальца	50	"
" шелковой ленты	25	"
Длина	2310	"
Радиус сектора	320	"
Ширина предохранительной накладки по линии крепления к сектору	203	"
Длина предохранительной накладки	530	"
Временное сопротивление	907	кгс
Вес лапы	0.46	"

Для предохранения лент от перетирания кольцом кольцо надо обклеивать тонкой (2 мм) резиной. В местах расположения лап

изнутри оболочки наклеивают усиление в виде части кольца с радиусами, равными: меньший — половине длины пальца, больший — полуторной длине пальца.

Эти лапы отличаются малым весом и небольшим аэродинамическим сопротивлением.

Фирма Гудир заменила ими четырехпалые веревочные лапы, конструкция которых показана на фиг. 108. Конструкция этой лапы отличается от предыдущей только тем, что шелковая лента заменена льняной веревкой, расплетенной, разложенной и проклеенной между матерчатыми пальцами. Вережки огибают кольцо, сделанное из стальной трубы. Трос, подходящий к лапе, пропускается сквозь отверстие кольца и заплетается, образуя петлю. Вережку при изготовлении лапы расплетают и расчесывают по нитям с обоих концов, оставляя посередине нерасплетенную часть. Один из расплетенных концов закладывается в один палец, другой конец в соседний палец. Часть веревки, образующая петлю, на которую надето кольцо, обшивается кожей для предохранения веревки от перетирания. Кожа должна нашиваться свободно, чтобы к веревке был доступ воздуха.

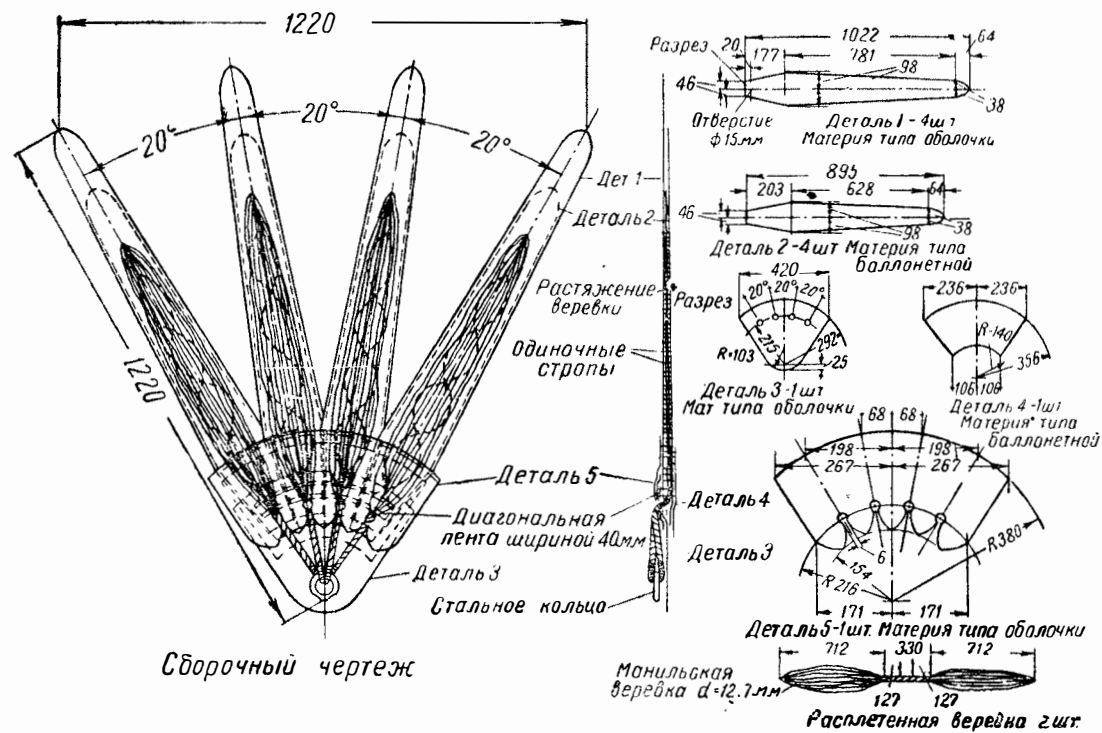
Нагрузка, приходящаяся на кольцо, будет равномерно распределяться на обе веревочные петли, а в самой петле — равномерно на оба конца веревки. Расчет этой лапы производится так же, как в предыдущем случае. Прочность веревки должна составлять половину прочности троса.

Для американской лапы, размеры которой указаны на чертеже, с веревкой диаметром 13 мм принято временное сопротивление в 910 кг при весе лапы в 850 г. Аэродинамическое сопротивление такой лапы весьма незначительно, так как над оболочкой выступают только веревочные петли.

Большим достоинством такой конструкции является то, что направление троса может колебаться в пределах осей средних пальцев, т. е. на $\pm 20^\circ$, причем распределение нагрузки на обе петли продолжает оставаться достаточно равномерным. Это свойство конструкции позволяет применять эти лапы для крепления поясных, направление которых может изменяться довольно значительно. При этом угол между пальцами лучше брать около 30° .

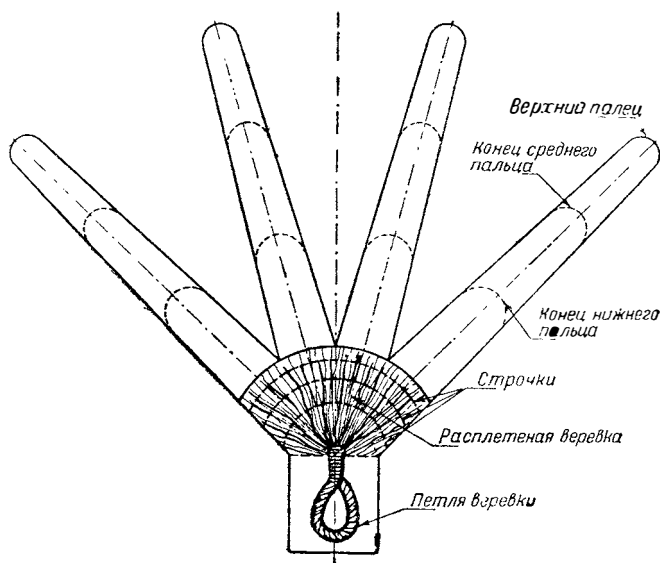
Хотя американцы и заменили лапы этой конструкции лапами с шелковой тесьмой, но опыт применения этих лап в Дирижаблестрое показал их большие преимущества в эксплуатации.

Для подвески гондолы и крепления поясных веревок мягких дирижаблей СССР-В2, В3 и В4 применялись лапы четырехпалого типа, несколько переконструированные по сравнению с американскими. Эти лапы рассчитывались на разрушающую нагрузку в 3000 кг. Для усиления лапы и лучшей ее работы для наружных пальцев и секторной накладке применялся специальный тип льняной ткани, так называемый спецпарус № 6, а не прорезиненная материя. Эта ткань при равных напряжениях обладает относительным удлинением в два раза меньшим, чем материя оболочки, и временным сопротивлением в 4000 кг/м при весе в 500 г/м²; веревки применялись окружностью 59—60 мм с временным сопротивлением в 1300—1500 кг. Радиус пальцев был выбран в 1500 мм с учетом, что с внутренней стороны



материя оболочки будет усилена секторами кругов, описанными радиусами в 1000 и 2000 мм. Вес этой лапы 2,5 кг.

При испытании нагрузкой в 1800 кг лапы выдерживали 5—6 суток без признаков разрушений или заметных деформаций. При испытании такой лапы, наклеенной на слабую материю, нагрузкой в 1500 кг, произошел разрыв материи, причем линия разрыва представляла дугу круга, concentричную дуге, описанной через концы пальцев и проходящей от них на расстоянии 150 мм. Четырехлетняя эксплуатация лап такого типа на наших дирижаблях показала их безукоризненную стойкость. Комбинируя толщину веревок, применяемые материи и изменяя размеры, можно, сохраняя общий принцип конструкции,



Фиг. 109. Комбинированная лапа сфероэрозата.

делать такие лапы под различную нагрузку и для различных назначений.

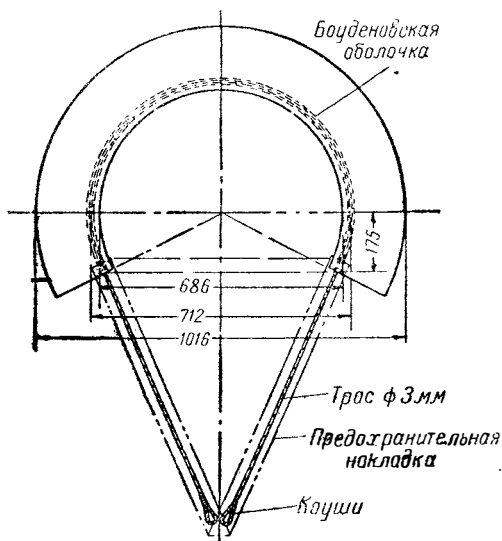
Как пример комбинированной лапы с веревкой и тесьмой можно указать на лапу, изображенную на фиг. 109 и примененную в подвеске малого сфероэрозата. В этой конструкции нагрузка, передающаяся на веревочную петлю, распределяется расплетенной веревкой по центральному матерчатому сектору. Передача нагрузки с сектора на оболочку производится четырьмя матерчатыми пальцами, состоящими из наложенных одна на другую накладок, работающих как тесьма лапы фиг. 107. Такая лапа весом в 180 г с веревкой диаметром 8 мм выдерживает в течение 5 суток нагрузку в 360 кг без всяких признаков разрушения.

Оригинальная лапа («лапа-подкова»), применявшаяся на морском мягком дирижабле С (США), показана на фиг. 110. Лапа состоит из боуденовской оболочки, заключенной в резиновую трубку и зашитой

по дуге круга в матерчатое усиление. Внутри боуденовской оболочки пропущен трехмиллиметровый стальной трос, заканчивающийся двумя петлями с коушами, к которым присоединяется стропа подвески.

Натяжение троса через боуденовскую оболочку передается на усиление и распределяется им по оболочке.

Недостатки этой лапы заключаются в том, что натяжения троса в местах входа в боуденовскую оболочку вызывают стягивание лапы, деформируя ее в эллипс с вертикальной большой осью. Незначительные отклонения направления нагрузки от биссектрисы угла, образуемого свободными концами троса, вызывают деформацию и перенапряжение материи заделки боуденовской оболочки. Эти лапы после некоторой эксплуатации были заменены четырехпальными лапами с расплетенной веревкой.



Фиг. 110. Лапа-полкова.

На французских дирижаблях фирмы Зодиак и итальянских дирижаблях и привязных аэростатах применяются катенарные лапы. Одна из таких лап изображена на фиг. 111.

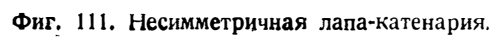
Катенарная лапа состоит из куска материи, ограниченного сверху линией пришива к оболочке (обычно прямой) и снизу двумя дугами парабол, пересекающимися в точке крепления стропы. Дуги парабол заканчиваются там, где касательные к ним параллельны линии пришива лапы.

В материю по параболом, с помощью того или другого усиления, заделывается веревка или стальной трос, образующий петлю в месте

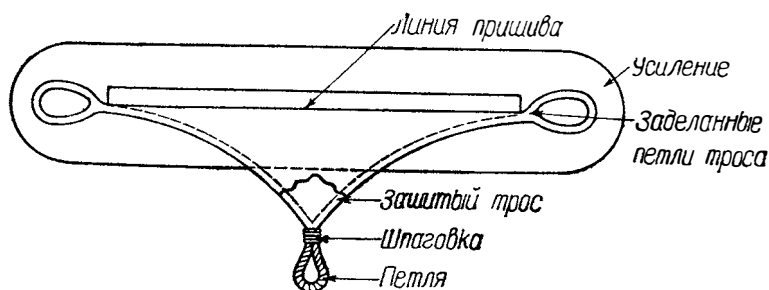
пересечения парабол. Так как парабола является линией, по которой располагается гибкая нить, несущая нагрузку, равномерно распределенную по ее пролету, то трос будет равномерно передавать на материю сосредоточенную нагрузку, приложенную к его петле. В такой передаче нагрузки и заключается назначение катенарных лап.

На фиг. 111 изображен общий случай конструкции лапы при нагрузке, направленной под углом к линии ее пришива. При этом получается несимметричная лапа. Для определения длины линии пришива сначала рассмотрим лапу, симметричную относительно вертикальной оси (фиг. 112).

Зная силу, действующую на узел лапы и длину линии пришива, приложим к этой линии равномерно распределенную по ней нагрузку, равную сосредоточенной силе, действующей на узел. Разбивая затем линию пришива на некоторое число равных частей, заменяем грузы

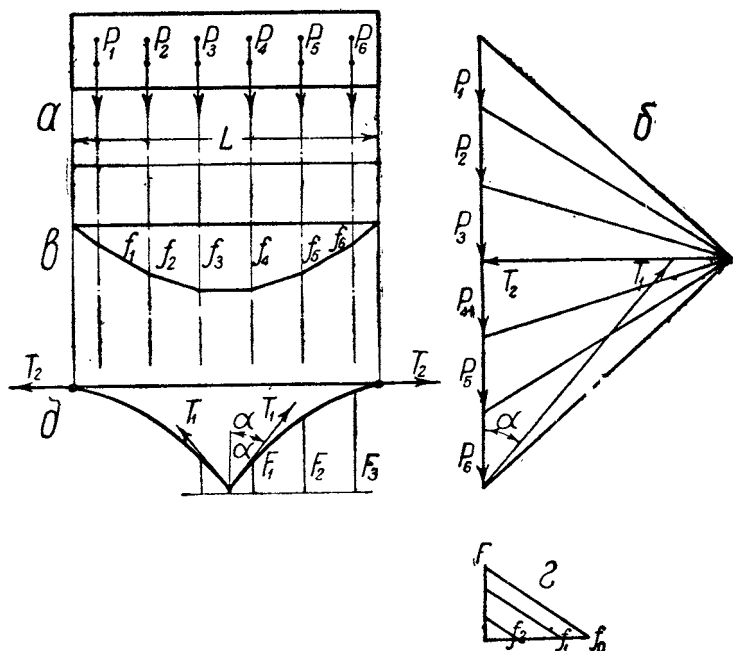


соответствующих интервалов. Для этих сил строим силовой многоугольник при произвольном полюсном расстоянии (фиг. 113). По этому силовому многоугольнику строим веревочный многоугольник.



Фиг. 112. Симметричная лапа-катенария.

Ординаты этого веревочного многоугольника будут ординатами параболы, со стрелой провеса f_0 . Чтобы получить заданную стрелу провеса F , множим ординаты веревочного многоугольника на отношение $\frac{F}{f_0}$.

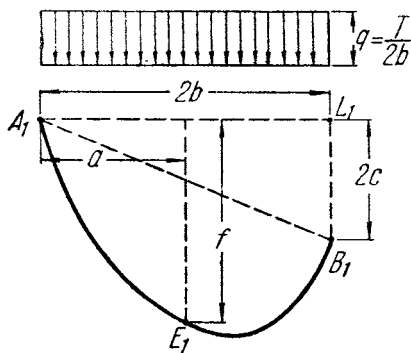
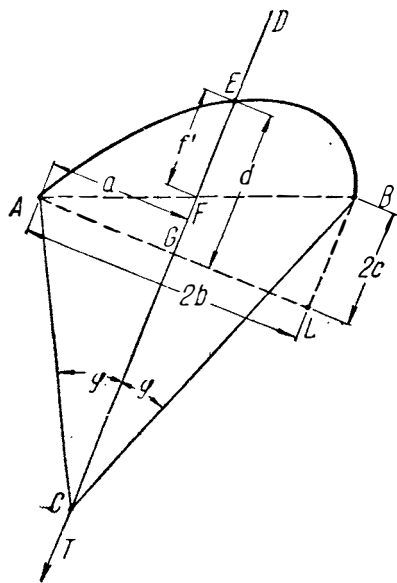


Фиг. 113. Построение симметричной лапы-катенарии.

Графический прием этого умножения показан на чертеже γ фиг. 113. Перестраивая затем веревочный многоугольник на новые ординаты, получаем новый наклон его сторон. Проведя на силовом многоуголь-

Стрелу провеса параболы выбираем, исходя из следующих соображений: чем меньше эта стрела, тем больше натяжение троса, но меньше общая высота лапы и, следовательно, вес материи. При увеличении стрелы f получаем обратное явление. Обычно отношение пролета к стреле f колеблется от 2 до 5; часто берется равным 3.

Для построения катенарии AEB проводим биссектрису CD угла ACB и опускаем на эту биссектрису из точки A перпендикуляр AG . Из точки B проводим прямую BL , параллельную CD , до пересечения ее с перпенди-



Фиг. 114. Построение несимметричной лапы-катенарии.

f' можно принимать равным $\frac{1}{4}AL$, т. е. $\frac{b}{2}$.

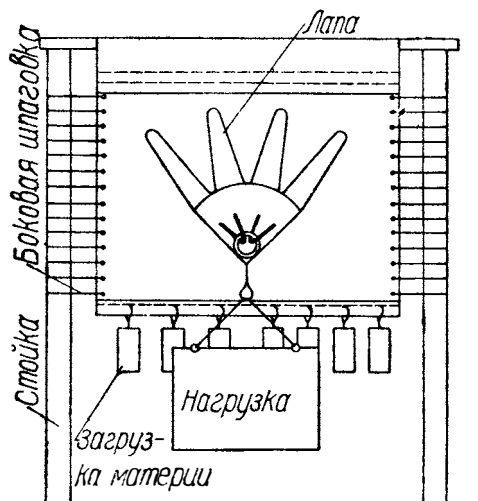
Имея три точки параболы A , B и E , переносим их на правый чертеж фиг. 114 (точки A_1 , B_1 и E_1) и методом, известным из графической статики, проводим через эти три точки веревочный многоугольник. Интенсивность нагрузки q , принятая при построении этого веревочного многоугольника, равна:

$$q = \frac{T}{2b}.$$

Закоординировав точки кривой $A_1E_1B_1$ относительно прямой A_1B_1 , переносим эту кривую на левый чертеж фиг. 114.

Если полученные результаты окажутся неудовлетворительными, то изменяем стрелку f' и повторяем построение.

При конструировании лап катенарий следует обращать особое внимание на заделку троса, при которой трос или веревка не разрезали бы материю лапы и не могли бы сдвигаться вдоль по своей заделке. Для этого по линии заделки троса наклеивают матерчатые усиления и поверх завернутой материи лапы так же наклеивают ленты усиления. Вырезать материю для облегчения заворачивания фестонами a (фиг. 111) не следует, так как это усложняет производство, а материя и без этого легко загибается вокруг троса. Чтобы избежать сдвигания вдоль заделки, трос или веревка до заворачивания материи пришивается к ней сквозь пряди стежками толстых ниток через 10—15 мм.



Фиг. 115. Схема установки для испытания лап.

Второе место конструкции, требующее тщательной проработки, это место заделки свободных концов троса. Если лапа сконструирована с применением веревки, то ее концы следует расплести, как это показано на фиг. 111. Если лапа делается с применением стального троса, то на свободном конце троса следует заплести петлю достаточного размера и заделать ее с помощью ряда усиления.

Третьим опасным местом является заделка троса нижней петлей. Трос в месте пересечения должен тщательно ошпаловываться. Материя в этом месте должна быть усилена накладками, охватываю-

щими обе ветви троса и предохраняющими угол троса от раскрытия.

Лапы-катенарии хорошо распределяют нагрузку по оболочке, но применение их удобно только тогда, когда лапу можно загружать строго перпендикулярно линии пришива, что не всегда возможно при конструировании подвески. Вследствие большого отставания этих лап от оболочки, аэродинамическое их сопротивление довольно велико. Их вес несколько превышает вес четырехпалых лап, спроектированных на ту же нагрузку. Эксплуатационная стойкость таких лап при хорошей конструкции и выполнении довольно значительна.

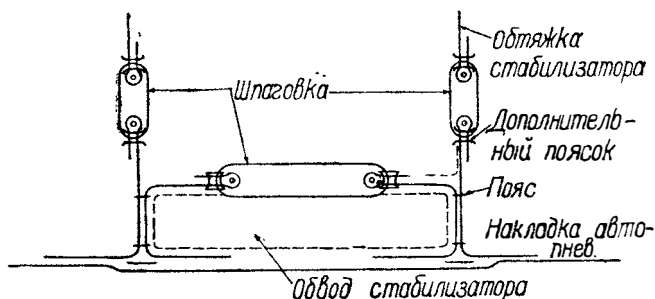
На фиг. 115 изображена схема установки для испытания лап. Изготовленная по чертежам лапа наклеивается на соответственную материю. Верхний край материи загибается и прошивается, образуя петлю, в которую закладывается прочный железный стержень, опирающийся на стойки. Вертикальные края куска материи должны быть усилены забортованной веревкой и снабжены люверсами, с помощью которых

материя растягивается к стойкам. Нижний край материи следует загружать мешками с песком для того, чтобы создать в материи натяжение, равное примерно $\frac{1}{20}$ от разрушающего. После того как материя равномерно растянута во всех направлениях, можно производить загрузку самой лапы. Загрузку лапе надо давать постепенно, доводя ее в течение 4—6 час. приблизительно до одной трети или половины расчетной разрушающей.

Если лапы в течение пяти суток не покажут заметных деформаций или признаков разрушения, то испытания можно считать законченными. Довести лапу до разрушения обычно не удастся, так как раньше происходит разрушение материи, на которую наклеена лапа.

§ 8. КРЕПЛЕНИЕ ОПЕРЕНИЯ И ПРОЧИЕ ДЕТАЛИ

Крепление оперения к оболочке мягких дирижаблей состоит из двух отдельных конструкций: первая служит для крепления самих поверхностей стабилизаторов, вторая — для крепления расчалок, удерживающих стабилизаторы в нормальном положении.



Фиг. 116. Пояс шпаговки стабилизатора.

Для крепления стабилизаторов (фиг. 116) можно применять простой матерчатый пояс, охватывающий нижний обвод стабилизатора и имеющий дополнительные пояски для притягивания обтяжки стабилизатора.

Для предохранения материи оболочки от протирания металлическим обводом стабилизатора нижняя подкладка пояса делается из какой-либо плотной ткани. Особенно подходящим для этой цели является хлопчатобумажный брезент типа автопнев или автоканвас. Эта ткань выделяется, как и ткань оболочки, из хлопчатобумажных волокон и имеет поэтому ту же твердость, что и материя оболочки. Боковые накладки пояса делаются обычно из той же материи, что и оболочка, и усиливаются по краю загибом материи вокруг шпагата диаметром 3 мм. Вдоль шпагата, упираясь в него, ставятся люверсы (пистоны), служащие для пропуска шпагата при шнуровке. Люверсы обычно ставятся размера $\frac{5}{10}$ (для шпагата $d = 3$ мм), с шагом 60—75 мм.

Пояски для притягивания обтяжки стабилизатора приклеиваются и пришиваются к основным поясам. Изготавливаются эти пояски из

двухслойной диагонально дублированной материи, усиленной по кромке забортованным шпагатом. Шаг люверсов берется также 60—75 мм.

В некоторых конструкциях вместо непосредственного крепления стабилизаторов к оболочке применяются специальные деревянные лыжи, направленные по поперечным сечениям оболочки. Стабилизаторы укрепляются к этим лыжам, чем достигается возможность регулирования их угла атаки. Таких лыж ставятся обычно 6—8 на стабилизатор. Это крепление сложно, тяжело и имеет большое аэродинамическое сопротивление.

Расчета пояса делать нет смысла, так как благодаря натяжению расчалок стабилизатор вдавливается в оболочку, а не отрывается от нее. Следовательно пояс воспринимает только лобовое сопротивление стабилизатора в той его части, которая превышает трение обвода о пояс.

Число расчалок и их крепление на стабилизаторе определяются конструкцией самого стабилизатора. Направление расчалок выбирается так, чтобы они лежали в плоскостях соответственных поперечных сечений. В некоторых кораблях можно наблюдать стремление направить расчалки вперед от стабилизаторов, с тем чтобы они, помимо нормальных к плоскости стабилизатора сил, воспринимали еще и силы лобового сопротивления. По нашему мнению, подтверждающемуся практикой, все лобовое сопротивление воспринимается поясом шпаговки, а наклон расчалок лишь усложняет конструкцию и регулировку оперения. Крепления расчалок располагаются в местах касания к оболочке прямых, проведенных из точек крепления расчалок к стабилизатору. Это делается для того, чтобы крепление не работало на отрыв. Прочность креплений берется в 1,5 раза больше прочности расчалки. При значительных усилиях применяют систему спусков, чтобы разнести нагрузки на две лапы.

Для крепления расчалок может применяться любой тип лап, описанных в предыдущем параграфе. Размеры лап определяются по расчету. В американских дирижаблях применяются лапы с расплетенной веревкой или тесьмой. Для расчалок оперения лапы также часто делаются двухпальными с углом между пальцами в 30°.

В мягких советских дирижаблях для крепления расчалок применялись четырехпальные лапы стандартного типа с расплетенной веревкой. Лапы проектировались соответственно прочности тросовых трехмиллиметровых расчалок с временным сопротивлением в 480 кг. Они весили 600 г и свободно выдерживали в течение шести суток нагрузку в 360 кг. Недостатком такого крепления являлось то, что лапы расчалки верхнего стабилизатора и верхней расчалки горизонтальных стабилизаторов, подвергающиеся непосредственному действию дождя, в течение 12—14 месяцев значительно теряли свою прочность.

С хорошими результатами применялись для крепления расчалок лапы катенарии. Условия нагружения для этих лап здесь весьма благоприятны, так как направление расчалки не может изменяться. Вес таких лап не велик. Недостатком этих лап является их большое аэродинамическое сопротивление и, так же как для лап с тесьмой, быстрое падение прочности от влаги, застаивающейся в расплетке веревки.

В последних вариантах советских мягких дирижаблей, а также в полужестких дирижаблях для крепления расчалок стабилизаторов применяются так называемые трубчатые лапы. Трубчатая лапа (фиг. 117) состоит из дуралюминовой трубы, зашпагованной в матерчатый карман, наклеенный на оболочку. На трубу надето два уха из листовой стали. Они охватывают трубу и имеют заделанные медные пистоны для постановки коушей спусков расчалки. Эти спуски идут под углом в 45° к оси трубы. Чтобы уши не перемещались вдоль трубы, на нее надевается и наклепывается упор из отрезков дуралюминовой же трубы.

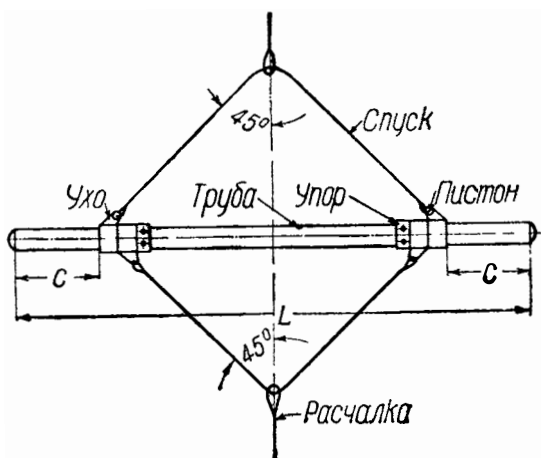
На фиг. 117 показана «двойная» лапа, т. е. лапа, к которой крепятся расчалки, идущие от двух стабилизаторов. При присоединении к лапе расчалок только от одного стабилизатора она называется «одиночной».

Расчет трубчатой лапы следует начинать с определения длины трубы по формуле (193). Дальше производится расчет трубы как балки с консолями, лежащей на двух опорах и нагруженной равномерно распределенной нагрузкой.

Из сопротивления материалов известно, что для такого случая наименьшее значение максимального изгибающего момента получается при длине консоли, равной $0,207 L$. Максимальные изгибающие моменты имеют место на опорах и равняются $0,02145 qL^2$. Подбор сечения трубы производится общеизвестными методами. Учитывать сжимающие усилия от продольных составляющих натяжений спусков не следует, так как продольный изгиб невозможен вследствие подкрепления трубы по всей длине материей оболочки, напряжения же чистого сжатия незначительны по сравнению с напряжениями от изгиба.

Пояс для шпаговки трубы ничем не отличается от пояса для крепления стабилизаторов, показанного на фиг. 116. Только шаг люверсов следует выбирать по числу витков шпагата, нужных для обеспечения прочности шпаговки.

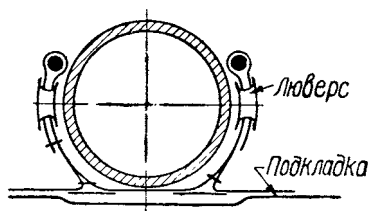
Вес трубчатых лап несколько больше веса лап других конструкций, но, применяя двойные лапы, можно достигнуть экономии в весе. Так как натяжения расчалок, подходящих к двойной лапе, по величине близки друг к другу, а по направлению почти противоположны, то мы в значительной степени разгружаем оболочку, так же как и саму трубу, от натяжения расчалок. На теоретическом чертеже сечения можно допускать отклонение расчалки от направления касательной на $10\text{--}12^\circ$; при этом лапа еще хорошо работает. Практика применения трубчатых



Фиг. 117. Двойная трубчатая лапа.

лап показала их хорошую эксплуатационную стойкость и удобство в эксплуатации.

Расположение оперения по длине оболочки обычно выбирается из соображений аэродинамики, но в мягких дирижаблях, кроме этого, необходимо провести проверку отвисания кормы. Прежде считалось достаточным, чтобы свободная подъемная сила кормового отсека, ограниченного спереди сечением, проходящим через носки стабилизаторов, была бы равна нулю или имела положительное значение. Однако такое расположение оперения неминуемо вызывало отвисание кормы книзу, что можно было наблюдать на дирижаблях «Комсомольская правда» и СССР-В2 (первый вариант). Для устранения этого отвисания необходимо, чтобы свободная подъемная сила кормового отсека обязательно имела некоторое положительное значение и чтобы сумма моментов полной подъемной силы и полного веса кормового отсека (т. е. оперения с его установкой и расчалкой, оболочки и прочих деталей) относительно сечения, проходящего через носок стабилизатора, равнялась нулю или имела положительное значение (вращение кормы вверх).



Фиг. 118. Карман трубы носового усиления.

В носовой части оболочки мягких дирижаблей обычно ставится носовое усиление, состоящее из труб, изогнутых по кривой меридианального обвода оболочки. В носовой точке трубы или крепятся к металлической шайбе или остаются свободными. Для крепления труб к оболочке применяются матерчатые карманы (фиг. 118), похожие на карманы для шпаговки стабилизаторов. Так как размеры труб обычно невелики (диаметр не

больше 30—35 мм) и давление трубы на оболочку значительно меньше, чем от стабилизаторов, то конструкция карманов может делаться более слабой, чем для стабилизаторов.

Обычно эти карманы делаются из двухслойной диагонально дублированной материи с временным сопротивлением порядка 1000 кг/м. Края карманов усиливаются отгибом материи и забортовкой шпагата диаметром 2—3 мм. Люверсы применяются размером 5/10 мм с шагом 50—65 мм, а шпагат диаметром 2—3 мм. Карманы только наклеиваются на оболочку, но не пришиваются к ней. После сборки корабля и зашпаговки труб, шнуровка заклеивается сверху однослойной лентой в цвет оболочки для предохранения шпагата и уменьшения лобового сопротивления.

Ширина одной стороны кармана составляет $\frac{1}{3}$ от окружности трубы, так что $\frac{2}{3}$ трубы охватываются карманом, а $\frac{1}{3}$ остается для шпаговки.

Если трубы носового усиления сходятся в носу на металлическую шайбу с ушками для их шарнирного прикрепления, то под эту шайбу для предохранения оболочки нужно поставить круглую матерчатую шайбу из автопнева и наклеить по ее краям матерчатый кольцевой пояс с люверсами для крепления к ним металлической шайбы носового усиления за заделанные в нее пистоны.

В наших дирижаблях карманы для прикрепления реек носового усиления идут обычно по всей длине рейки. В американских дирижаблях для облегчения конструкции карманы наклеиваются отдельными отрезками длиной в 300—400 мм с интервалами между ними в 600—800 мм. При правильном определении длины шпаговки, получаемой из расчета носового усиления, такая конструкция рациональна и дает значительное облегчение.

Если предполагается осуществить причал судна за носовую точку, то для восприятия продольных усилий при стоянке на мачте на оболочку между рейками наклеивают лапы, соединяющиеся тросами с носовой шайбой, за которую крепится причальное приспособление. В американских конструкциях для этого применяют обычно двухпалые лапы стандартного типа с расплетенной веревкой. Определение необходимой прочности этих лап производится по силам, действующим на судно при его стоянке на мачте.

Для маневрирования с дирижаблем на земле и для его стоянки на биваке, необходимо крепить к оболочке достаточное число поясных и бивачных веревок. Это число обычно определяется из непосредственного опыта или на основании статистических данных.

Для крепления бивачных веревок можно применять бивачный пояс, сделанный из прочной тесьмы по типу бивачного пояса привязных аэростатов, описанных в разделе IV.

Таким образом было выполнено крепление бивачных на дирижаблях «Комсомольская правда» и СССР-В2. На дирижабле СССР-В2 с каждого борта имелось по 10 точек креплений, на дирижабле «Комсомольская правда» — по 6 точек.

Бивачный пояс хорошо разгружает оболочку при нормальной стоянке судна в эллинге на поясных с ослабленной подвеской гондолы. Этим способом можно предохранить оболочку от чрезмерного деформирования. Но при маневрировании с судном на земле бивачные веревки часто натягиваются под косым углом к поверхности их крепления. Такое косое натяжение заставляет кольцо крепления бивачной опираться одним краем на тесьму, что приводит к ее быстрому разрушению. Поэтому бивачный пояс можно рекомендовать только для небольших дирижаблей, допускающих легкое маневрирование на земле. Практика эксплуатации показала, что разрушение таких бивачных поясов начинается с вырывания колец из тесьмы на крайних носовых и кормовых точках, т. е. там, где по условиям маневрирования бивачные веревки больше всего отклоняются от своего нормального положения.

На дирижаблях СССР-В1, СССР-В3 и на втором варианте оболочки СССР-В2 бивачный пояс заменен наклеенными на оболочку стандартными четырехпальными лапами с расплетенной веревкой. На дирижабле СССР-В1 установлено с каждого борта по 8 бивачных лап (в первом варианте оболочки лапы были четырехпальные с тесьмой). На дирижабле СССР-В2 и СССР-В3 с каждого борта было установлено по 10 четырехпальных стандартных лап. Замена бивачного пояса лапами конечно ухудшает работу верхней части оболочки при стоянке судна и маневрировании с ним, но сами лапы оказались выносливее поясов.

Кроме бивачных веревок, дирижабль должен иметь поясные веревки для маневрирования на земле. Поясные на дирижаблях распо-

лагают обычно в носовой и кормовой частях оболочки, чтобы облегчить разворачивание дирижабля при сильном ветре. Для крепления поясных обычно применяют те же лапы, что и для подвески гондолы. Лапы ставятся парами. Поясная веревка своим кольцом, заплетенным в ее верхний конец, свободно скользит по спуску, соединяющему петли обеих лап. Такая система применяется для равномерного распределения нагрузки между обеими лапами при значительных отклонениях поясной. Иногда веревочная поясная для уменьшения лобового сопротивления заменяется стальным тросом, оклеенным лентой из прорезиненной материи. На конце трос заплетается петлей, в которую при маневрировании с судном на земле продевают костылек от веревочных лямок. При взлете судна костылек вынимается и лямки снимаются с поясной.

В мягких дирижаблях средней кубатуры (от 5000 м³) желательно помещать хотя бы одну пару поясных в кормовой части дирижабля за оперением, чтобы облегчить вывод дирижабля из эллинга при боковом ветре.

Точки крепления как бивачных, так и поясных веревок следует располагать по высоте так, чтобы веревка являлась касательной к оболочке в месте крепления при угле между поясной и горизонтом в 45—50°.

Расчет поясных следует вести на разрушающую нагрузку в 960 кг (удвоенный вес 6 чел.), причем разрушающая нагрузка самой лапы, и особенно ее крепления к оболочке, должна быть в 1,5 раза больше, чем для поясной.

На дирижабле «Комсомольская правда» были установлены две пары поясных: одна пара за носовым усилением, другая пара за оперением. Для крепления каждой поясной применялись две лапы того же типа, что и для крепления подвески гондолы.

На дирижабле СССР-B2 (в первом варианте) имелось по три поясных с каждого борта: одна за носовым усилением, одна у носка стабилизатора и одна за оперением. Крепление поясных производилось посредством стандартных четырехпалых лап с расплетенной веревкой. Две пары передних поясных имели по две лапы, соединенные спуском, поясные последней пары крепились к одной лапе.

На американском дирижабле ТС-1 (фиг. 1) специальных креплений для бивачных и поясных веревок не имелось. Часть поясных веревок крепилась к лапам основной подвески гондолы, а часть к специальному причальному приспособлению. Это причальное приспособление состоит с каждого борта из пяти четырехпалых лап, наклеенных по окружности в носовой части оболочки. Спуски от всех лап одного борта сходятся в один общий узел, к которому крепятся стропа уздечки гайдропа и группа из трех поясных. Стропы уздечки обоих бортов соединяются с тросом, идущим от гондолы, и к вершине получающейся трехгранной тросовой пирамиды крепится конец гайдропа. Это приспособление позволяет осуществлять механическое причаливание дирижабля и стоянку его на низкой причальной мачте. Для маневрирования с дирижаблем на корме за оперением имеется дополнительное крепление двух поясных, установленное на нижнем меридиане оболочки. Это последнее крепление кажется неудачным, так как при разворачивании дирижабля оно будет работать на отдиранье.

Подобное же причальное устройство применялось на дирижабле СССР-В1. Это приспособление состоит из пяти четырехпалых лап, тросы которых соединены в одну петлю. Лапы наклеены на нижней части оболочки, на расстоянии приблизительно 3 м от носка гондолы. Сквозь петлю, образованную тросами, идущими от лап, пропущен конец толстой веревки, имеющей на другом конце костылек, к которому крепится конец гайдропа. Такое приспособление, несколько утяжеляя конструкцию, улучшает условия подтягивания дирижабля на гайдропе, перенося вперед точку его крепления.

Мягкие дирижабли обычно имеют разрывные полотнища. Применение их вызвано тем, что эти суда могут эксплуатироваться в полевых условиях без эллингов, почему может встретиться необходимость в быстром выпуске газа. То же самое может потребоваться в случае вынужденной посадки на неподходящей местности на большом расстоянии от базы.

Пропускная способность разрывного должна выбираться из условия выпуска газа из оболочки в течение определенного промежутка времени. Это время не установлено какими-либо нормами, но на основании практических соображений можно считать, что не следует увеличивать размеры разрывных для опорожнения оболочки менее, чем в 10 мин. Конструкция разрывных полотнищ дирижаблей одинакова с конструкцией разрывных привязных аэростатов.

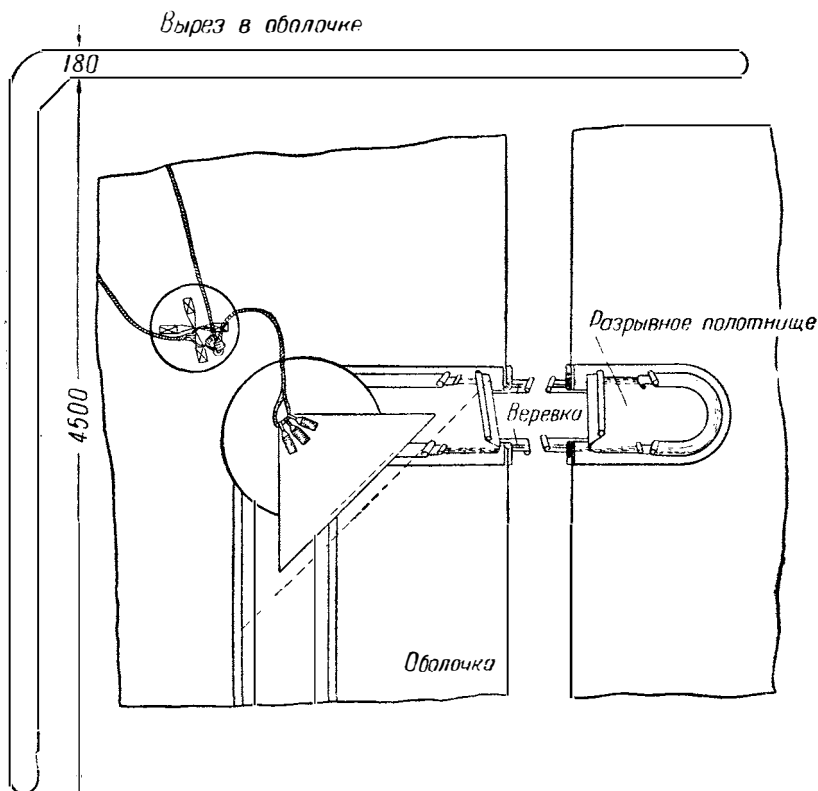
На дирижабле «Комсомольская правда» имелось два разрывных полотнища системы инж. Н. В. Фомина. Одна сторона этого разрывного направлена по меридиану оболочки, а другая — по параллели. Расположение разрывных видно на фиг. 104. Конструкция разрывного полотнища видна из фиг. 119. Полотнище имеет разрывную параллельно дублированную ленту. Такое же разрывное было установлено на первом варианте оболочки дирижабля СССР-В2. Разоружение этого дирижабля показало хорошее действие этого разрывного, но оно ослабляет оболочку и утяжеляет ее.

На американских дирижаблях применяется разрывное полотнище в виде двух продольных щелей, прорезанных одна за другой по хребту оболочки и заклеенных языками с разрывными лентами. Конструкция этого типа разрывного изображена на фиг. 120. Расположение разрывного на хребте лучше обеспечивает выпуск газа, так как при разоружении оболочка обычно остается в нормальном положении и разрывное находится в ее наивысшей части. По весу такая конструкция легче предыдущей. Такое разрывное было установлено на втором варианте оболочки дирижабля «Комсомольская правда» и оболочке дирижабля СССР-В3.

В последних вариантах оболочек дирижаблей СССР-В2 и СССР-В3 разрывная щель заменена шестью эллиптическими отверстиями, расположенными в ряд по параллели верхней части оболочки. Эти отверстия, усиленные забортованной веревкой, закрываются внутри оболочки языком, соединяющимся с оболочкой разрывной лентой. В каждом отсеке оболочки делается одно такое разрывное.

Для наполнения оболочки газом служат аппендиксы. Диаметр аппендикса обычно берется равным 500 мм, чтобы человек мог свободно влезать в оболочку. Длина аппендикса делается обычно в 1 м. Снаружи

апендиксы закрываются фартуками, пришаговываемыми к оболочке. В каждом отсеке оболочки делается один апендикс. Обычно апендиксы помещаются на нижнем меридиане оболочки, во всяком случае их желательно помещать не слишком высоко, чтобы не затруднять присоединение к ним шлангов. В апендиксе по середине его длины следует укреплять смотровое окошко, чтобы иметь возможность осматривать внутренность оболочки после ее наполнения газом. Для этого, пере-



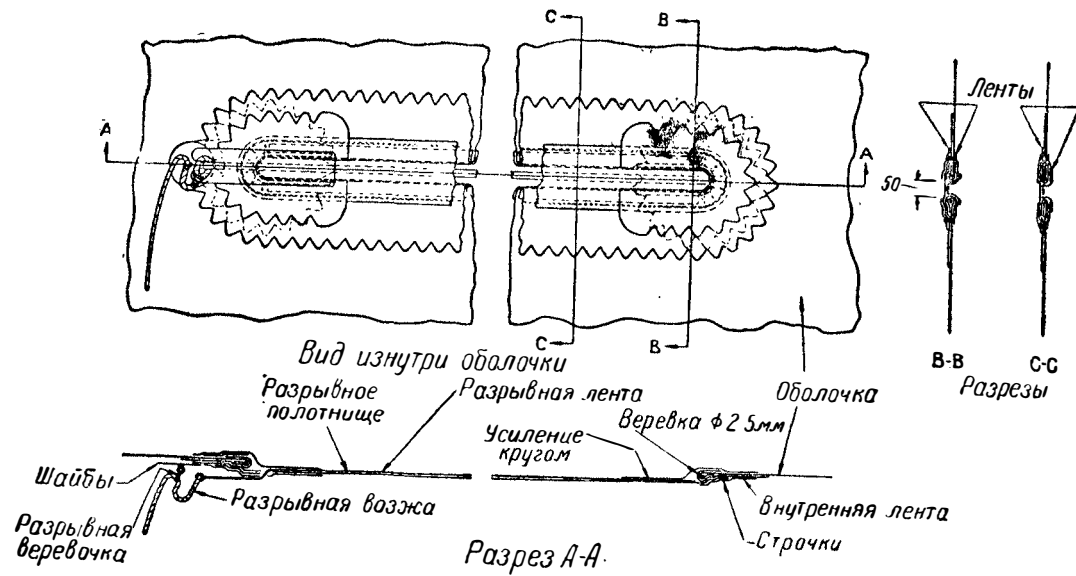
Фиг. 119. Разрывное системы Н. В. Фомина.

вязав апендикс в нижней части, выворачивают его во внутрь оболочки и, всунув голову в апендикс, осматривают оболочку через смотровое окошко.

Для осмотра баллонетов в каждом их отсеке помещают по апендиксу, так же закрывающемуся сверху фартуком со шнуровкой.

§ 9. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ

При предварительном проектировании дирижабля необходимо бывает определить по статистическим данным предварительные веса его отдельных деталей. Это определение делают путем пересчета весов



Фиг. 120. Американское шелевое разрывное.

прототипа на данные проектируемого дирижабля. Приведем формулы, служащие для указанного пересчета.

Вес оболочки:

$$P_1 = A_1 \cdot U^{\frac{4}{3}}, \quad (195)$$

где A_1 — коэффициент, определяемый из статистики;

U — объем оболочки. Степень $\frac{4}{3}$ взята на следующих основаниях.

Поверхность оболочки пропорциональна $U^{\frac{2}{3}}$. Натяжение оболочки, а следовательно ее вес, пропорциональны, с одной стороны, r , с другой стороны — сверхдавлению в высшей точке, т. е. d . Но d и r пропорциональны $U^{\frac{1}{3}}$, поэтому вес оболочки будет пропорционален:

$$U^{\frac{2}{3}} \cdot U^{\frac{1}{3}} \cdot U^{\frac{1}{3}} = U^{\frac{4}{3}}.$$

Вес баллонета:

$$P_2 = A_2 \cdot U^{\frac{2}{3}}. \quad (196)$$

Выше указывалось, что для баллонетов обычно применяется одна и та же материя, независимо от объема судна, поэтому очевидно, что вес баллонета будет пропорционален его поверхности, т. е. $U^{\frac{2}{3}}$. Поверхность баллонета зависит также от его конфигурации и отдачи (объема), но при предварительном подсчете весов этого не учитывают.

Вес диафрагм:

$$P_3 = A_3 \cdot n \cdot U^{\frac{2}{3}}. \quad (197)$$

Принимая, что материя для диафрагм не зависит от объема судна, получим, что вес диафрагм будет зависеть только от числа диафрагм n и площади сечения оболочки, т. е. от $U^{\frac{2}{3}}$.

Вес подвески гондолы:

$$P_4 = A_4 \cdot U. \quad (198)$$

Так как все элементы подвески работают на растяжение, то вес подвески будет зависеть от веса гондолы, т. е. в первом приближении от подъемной силы, или от U .

Вес матерчатых креплений носового усиления:

$$P_5 = A_5 \cdot U^{\frac{2}{3}}. \quad (199)$$

Вес креплений может быть принят пропорциональным суммарной длине реек, которая пропорциональна поверхности оболочки, т. е. $U^{\frac{2}{3}}$.

Американские авторы объединяют вес самой оболочки с весом всех ее деталей (баллонетов, разрывных и т. д.) и выражают его в виде:

$$P = B \cdot U^{\frac{4}{3}}. \quad (200)$$

В этот вес не входит вес подвески, определяемый формулой (198).

Значения приведенных выше коэффициентов $A_1, A_2, \dots$ зависят от типа дирижабля, его скорости и пр. Для их подбора можно пользоваться табл. XI, содержащей некоторые характеристики оболочек мягких американских дирижаблей, взятые из книги Блекмор и Пэгон «Нежесткие воздушные суда». Общие данные этих дирижаблей можно найти в книге инж. Н. В. Лебедева «Дирижабли». Характеристики материй, обозначения которых указаны в табл. XI, имеются в приложении к настоящей работе (табл. XXII).

Для предварительного определения веса оболочки можно также пользоваться формулой Уорнера:

$$S = 2,55 \sqrt{UL} + 1,22 \frac{U}{L}, \quad (201)$$

где U — газовый объем оболочки;

L — ее полная длина.

Определив по этой формуле поверхность оболочки, подобрав тип материи и прибавив 15—20% на швы, мы можем определить вес самой оболочки.

Оболочка первого советского дирижабля «Химик-Резинщик», сконструированного инж. Н. В. Фоминым, и однотипного с ним дирижабля «Комсомольская правда» имела следующие основные данные. Длина 47,45 м; максимальный диаметр 10,30 м; теоретический объем 2500 м³; поверхность оболочки 1360 м². Оболочка состояла из 16 полотнищ, разбитых на отдельные трапеции. Раскрой меридианальный, с разбивкой на 47 трапеций в шахматном порядке.

Для дирижабля «Комсомольская правда» в первом варианте применялась материя от привязных аэростатов Парсеваль с временным сопротивлением (в среднем) 1100 кг/м и весом в 360 г/м. Материя диагонально дублированная с внешним алюминиевым покрытием. Внутри оболочки помещалось два равных баллонета объемом по 315 м³, образованных по усеченным конусам со сферическими торцами. Баллонеты изготовлялись из двухслойной параллельно дублированной материи типа Д84, прочностью 1100 кг/м и весом 260 г/м². Баллонеты раскраивались отдельными трапециями.

Подвеска состояла из 44 лап (по 22 лапы с каждого борта) с системой веревочных спусков и стальных строп из троса диаметром 6 мм. Два разрывных системы инж. Н. В. Фомина располагались по одному с каждого борта оболочки, несколько выше экватора. Два газовых клапана помещались в нижней части оболочки у носка стабилизатора. Воздушные клапаны, по одному на каждый баллонет, также помещались в нижней части оболочки.

Для крепления стабилизаторов служили матерчатые пояса, наклеенные на оболочку. Расчалка стабилизаторов крепилась к гусиным лапкам матерчатого пояса, наклеенного на оболочку. Для крепления носового усиления, состоящего из восьми деревянных реек, служили также матерчатые карманы с люверсами. Описание швартового такелажа было приведено выше.

Основные данные матерчатой части дирижаблей СССР-В2 и ВЗ следующие.

Таблица XI

Наименования	Размерность	Т и п с у д н а									
		морской В	морской С	морской Д	морской F	армейский ОВ-1	армейский МА	армейский I-1	армейский ТА	армейский TC	армейский TE-1
Газовый объем	м ³	2377	5125	5380	2690	1220	5095	4900	3680	5830	2275
Длина оболочки	м	49,7	59,75	60,4	49,4	28,9	51,55	52,0	49,4	59,8	41,5
Диаметр оболочки	м	9,61	12,81	12,81	10,2	9,39	14,64	13,73	12,0	13,58	10,35
Поверхность оболочки . .	м ²	1192	1855	1932	1262	650	1785	1760	1495	2012	1080
Метраж материи	м ²	1375	2220	2309	1460	748	2060	2030	1708	2320	1225
Тип перкаля	—	ВВ	ВВ	ВВ	ВВ	ВВ	АА	АА	АА	АА	АА
Вес материи	г/м ²	510	527	527	510	365	473	473	480	480	480
Число слоев материи . . .	—	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3
Полный вес	кг	690	1100	1135	750	267	—	—	774	1110	585
Вес, приходящийся на швы	%	18,5	18,5	18,0	16,0	17,5	—	—	12,5	18,5	18,5
Баллонеты	число	1	2	1	1	1	1	1	2	2	—
Отдача баллонетов	%	—	29,3	30,7	28	20	33	30	30	26	25
Поверхность баллонетов .	м ²	324	624	624	268	124	452	452	251+210	298+262	289
Метраж материи	м ²	356	720	720	310	143	512	512	528	640	335
Тип перкаля	—	АА	АА	АА	АА	АА	АА	АА	АА	АА	АА
Вес материи	г/м ²	306	306	306	306	302	310	310	302	302	302
Число слоев материи . . .	—	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Полный вес	кг	125	202	213	154	48	—	—	173	208	109
Вес, приходящийся на швы	%	26,5	—	—	—	27	—	—	24	23,5	25

Дирижабль СССР-В2: объем оболочки 5000 м^3 (теоретический); длина 58,135 м; диаметр миделя 12,9 м, поверхность оболочки 1865 м^2 . Баллонетов два; объем обоих баллонетов 1680 м^3 ; поверхность баллонетов 635 м^2 . Диафрагма газовая одна, в миделевом сечении. Общий вес оболочки со всеми деталями 1260 кг. Оболочка раскроена меридианальным раскроем на 16 полотнищ, разбитых в шахматном порядке на 52 трапеции.

Материя для оболочки типа Д2, трехслойная, из средних перкалей с внешним диагональным слоем. Вес этой материи 500 г/м^2 . Временное сопротивление материи в среднем 2200 кг/м . Газопроницаемость 12 л/м^2 в сутки.

Подвеска гондолы состояла из девяти строп с каждой стороны оболочки. Стропы изготовлялись из восьмимиллиметрового стального троса двойного плетения и имели по два тандера, дающих общий ход в 520 мм. Стропа посредством коушей одевалась на спуски из такого же троса. Спуски присоединялись к лапам американского типа, рассчитанным на нагрузку в 4000 кг.

Баллонет состоял из двух усеченных конусов, заканчивающихся торами. В плоскости миделя баллонет разделялся продолжением диафрагмы на два глухих отсека. Конусная часть баллонета раскроена цельными продольными полотнищами. Торы баллонетов раскроены меридианальными лимонными корками, так же как и торцы, крепящиеся к диафрагме. Баллонеты изготовлены из материи типа Д84. Каждый баллонет имеет посередине поперечную перегородку, образованную из двух сферических сегментов. Перегородки изготовлены из перкаля типа Б и имеют отверстия для сообщения отсеков.

Описание первого варианта диафрагмы было приведено выше. Также выше было описано швартовое оборудование оболочки и конструкция разрывного. Крепление расчалок стабилизаторов производилось посредством стандартных четырехпалых лап уменьшенных размеров. Расположение оперения на этом дирижабле было неудачным и привело к отвисанию кормовой части оболочки.

Крепление труб носового усиления производилось посредством матерчатых карманов с люверсами. Носовая металлическая шайба, к которой присоединялись четыре трубы носового усиления, устанавливалась на матерчатой шайбе, сделанной из прорезиненного брезента и имеющей кольцевой пояс с люверсами 10/16, к которым и пришивалась металлическая шайба.

Оболочка дирижабля СССР-В3 представляет собой конструкцию, геометрически подобную оболочке дирижабля СССР-В2, но увеличенную по своим размерам. Теоретический объем оболочки 6500 м^3 , длина 63,56 м, диаметр миделя 14,1 м. Поверхность оболочки 2221 м^2 . Объем баллонетов 2185 м^3 , их поверхность 831 м^2 . Образование баллонетов и диафрагм то же, что и у СССР-В2.

Разница в конструкции этих дирижаблей заключается в уменьшении до 12 числа полотнищ оболочки, в замене разрывных типа Н. В. Фомина щелевыми американскими, расположенными вдоль хребта оболочки, и в увеличении числа строп до 12 пар в связи с увеличением веса гондолы и длины оболочки.

Швартовые приспособления этого дирижабля были описаны выше. Материя для оболочки и баллонета применена та же, что и у СССР-В2.

В 1933/34 гг. была произведена модернизация этих дирижаблей и выработан унифицированный тип дирижабля, имеющего основные размеры дирижабля СССР-В3. Модернизация оболочки состояла в замене материи Д2 материей той же прочности Д13 с внешним перкалем Б и сниженным вследствие этого до 480 г/м^2 весом.

Изменение конструкции диафрагм было описано выше. Баллонетные перегородки были уничтожены, как не дающие каких-либо результатов. Щелевидные разрывные были заменены более надежными разрывными с шестью эллиптическими отверстиями.

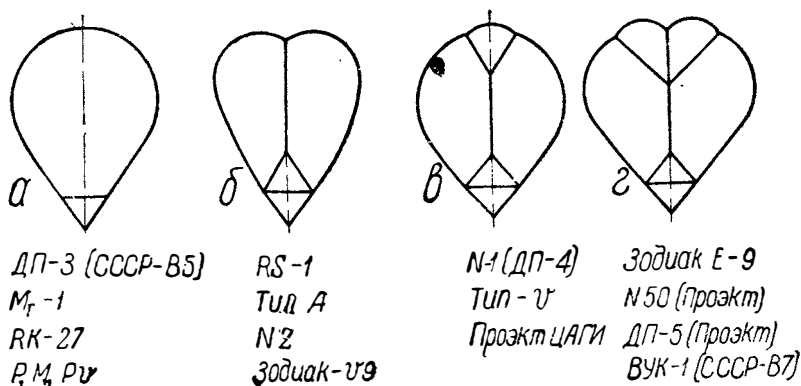
Число строп подвески было уменьшено с 26 до 20 (по 10 строп с каждого борта) и сама схема подвески изменена. Оперение передвинуто вперед на 1,2 м, что избавило корму от провисания. Крепление расчалок оперения выполнено с помощью трубчатых лап. Расстояние между низом оболочки и крышей гондолы вначале было уменьшено до 2 м, но это вызвало нежелательные деформации оболочки и поэтому гондола была опущена до 3,2 м. Модернизированный дирижабль СССР-В2 показал в 1935 г. неплохие летные качества.

Раздел VI

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЛЛОННО-ТАКЕЛАЖНОЙ ЧАСТИ ПОЛУЖЕСТКИХ ДИРИЖАБЛЕЙ

§ 1. ВЫБОР СХЕМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Конструкция оболочки полужесткого дирижабля и ее отдельных агрегатов, перечисленных в разделе I, органически связана с общей схемой всего дирижабля. Так, например, выбор схемы поперечного сечения оболочки связан с сечением килевой фермы. Длина панелей



Фиг. 121. Схема поперечных сечений полужестких дирижаблей.

внутренних и внешних катенарий должна быть равна или кратна длине панели килевой фермы. Схема внутренней подвески может значительно влиять на распределение усилий и тем самым на вес килевой фермы. Эти примеры наглядно показывают значение баллонно-такелажной части в общей конструкции полужесткого дирижабля и заставляют конструктора с максимальной вдумчивостью подходить как в выборе схемы оболочки, так и к конструированию ее отдельных деталей.

Проектирование оболочки полужестких дирижаблей начинается с установления схемы и размеров поперечного сечения. Если посмотреть конструкции построенных дирижаблей, то можно найти самые разнообразные схемы поперечных сечений (фиг. 121), начиная от оболочки, имеющей крепление только внизу к узлам килевой фермы, и кончая сечениями с тремя внутренними катенарными поясами с соответствующим такелажем. Во всех этих случаях киль может быть

расположен вершиной вниз, как это показано на фиг. 121, или вершиной вверх.

Назначение внутренней подвески следующее:

1) увеличивать площадь сечения (приближение к круговой форме) и, следовательно, увеличивать общий объем оболочки при той же поверхности;

2) уменьшать натяжение материи и, следовательно, облегчать конструкцию за счет применения более легкой материи;

3) уменьшать изменения формы и площади поперечного сечения при изменениях сверхдавления в оболочке;

4) распределять нагрузку по узлам килевой фермы;

5) уменьшать общую строительную высоту дирижабля;

6) получать такую форму сечения, при которой стороны шпангоутов килевой фермы являются в нижних точках оболочки касательными к ней (для дирижаблей, имеющих кильферму углом вниз или вообще выступающую из оболочки).

В разделе V при изучении формы поперечных сечений было выяснено, что круговая форма поперечного сечения мягкого дирижабля может существовать только для одного частного случая нагружения. Во всех других случаях радиусы кривизны периметра поперечного сечения изменяются по высоте по тому или другому закону. В полужестком дирижабле оболочка во всех сечениях скреплена посредством катенарий с фермой по низу и с внутренней подвеской по верху сечения. Следовательно, для оболочки полужесткого дирижабля не реален случай, когда груз, подвешенный к сечению, равен нулю, а перерезывающая сила равна подъемной силе сечения.

Отступление формы сечения от круговой вызывает уменьшение его площади по сравнению с площадью круга, причем это уменьшение для сечений без внутренней подвески при полном выполнении оболочки может достигать 6—8%. Применение внутренней подвески, уменьшающей высоту сечения и заставляющей оболочку раздаваться в ширину, позволяет свести уменьшение площади до 2—3% и тем самым дает выигрыш в объеме судна. Правда, этот выигрыш достигается за счет утяжеления конструкции внутренними поясами катенарий и подвеской.

Для сравнения различных вариантов поперечных сечений в практику работ конструкторского бюро Дирижаблестроя был введен критерий, называемый «качество сечения». Для определения качества, мы представляем себе вырезанный из оболочки прямой цилиндрический отсек с основанием, представляющим выбранное сечение. Отношение полной подъемной силы такого отсека к весу матерчатой конструкции этого же отсека мы и называем качеством сечения. В вес матерчатой конструкции в этом случае входят веса: наружной оболочки, внутренних поясов, внешних и внутренних катенарий и внутренней подвески. Вес баллонета, внутреннего покрытия килея и его внешней обтяжки мы отбрасываем, так как сравнение сечений ведется при одной и той же конфигурации килевой фермы, а разница в весе баллонета для различных сечений при одной и той же отдаче баллонета будет незначительна. Само собой разумеется, что сравнение сечений производится при одних и тех же длине периметра и сверхдавлении газа по низу миделевого сечения.

Веса конструкции подсчитывают, исходя из следующих предположений: качество перкалей одинаково для всех деталей (обычно равно 10), вес перкаля и его прочность в точности соответствуют полученному натяжению и установленному запасу прочности, т. е.:

$$R = Tk \quad (202)$$

и

$$p = \frac{R}{m} = \frac{Tk}{m}, \quad (203)$$

где R (кг/м) — временное сопротивление перкаля;

T (кг/м) — напряжение, действующее в данном элементе;

k — запас прочности, принятый для данного элемента конструкции;

p — вес 1 м² перкаля в г;

$m = \frac{R \text{ кг} \cdot \text{м}}{p \text{ г/м}^2}$ — качество перкаля.

Найдя по формуле (203) вес 1 м² требующегося перкаля, определяем вес материи внешней газовой оболочки, учитывая диагональный слой и прорезинку. Вес диагонального слоя в случае двухслойной материи принимается равным $p \text{ кг/м}^2$, а при тресхслойной $\frac{p}{2} \text{ кг/м}^2$. Вес внутренних слоев или слоя резины принимается равным 180 г/м^2 , а вес наружного алюминиевого покрытия 35 г/м^2 .

Оценивая различные сечения по их качеству, надо считаться также с тем, что практически не удастся получить перкали с точно необходимой прочностью, а приходится применять ближайший по сортаменту перкаль, имеющий прочность выше требующейся. Поэтому можно рекомендовать при проектировании определять качество сечения, применяя не «теоретическую» материю и перкали, а пользуясь имеющимся сортаментом перкалей и баллонных материй.

Можно подходить к оценке поперечного сечения и с точки зрения получения максимальной свободной подъемной силы, т. е. разности между полной подъемной силой данного метрового отсека и весом его матерчатой конструкции. Можно также, определяя качество сечения, добавочно учитывать изменение лобового сопротивления судна в зависимости от величины площади его миделевого сечения.

Помимо уменьшения натяжения материи и увеличения качества сечения, внутренняя подвеска, стягивая оболочку, уменьшает ее деформации, происходящие от изменения сверхдавления. Изменения формы поперечного сечения, как уже отмечалось, вызывают изменения его площади, а следовательно и объема оболочки. Тем самым дирижабль до некоторой степени уподобляется невыполненному аэростату, с его трудной вертикальной управляемостью. Изменения формы поперечного сечения, происходящие при изменении сверхдавления, вызывают в свою очередь изменения кривизны меридианов оболочки, стремящиеся изменить (укоротить или удлинить) оболочку. Относительно жесткий киль препятствует таким изменениям длины оболочки, нагружаясь продольными силами и вызывая дополнительные продольные напряжения в оболочке. Автору пришлось наблюдать случай, когда изменение сверхдавления без изменения величины и

распределения внешних действующих сил вызвало в нижних стрингерах килевой фермы дирижабля СССР-В5 настолько значительные усилия сжатия, что трубчатые стрингера получили заметные деформации продольного изгиба.

Значительные изменения формы сечения затрудняют также решение ряда конструктивных вопросов: установка верхнего стабилизатора и руля, вывод шахты, проходящей через газовое пространство, конструкция носового усиления, кормового развития и т. д. Наличие центрального катанарного пояса, сохраняющего постоянно формы верхнего меридиана оболочки при изменениях сверхдавления, значительно облегчает решение всех этих задач. Наличие внутренней подвески при киле, расположенном углом внутрь оболочки, создает в наклонных боковых стержнях шпангоутов растягивающие усилия, причем величина этих усилий зависит от степени восприятия внутренней подвеской подъемной силы сечения. При киле, расположенном углом наружу (фиг. 121), поперечные составляющие натяжения внутренней подвески вызывают усилия сжатия в верхнем горизонтальном стержне шпангоута.

Общее уменьшение строительной высоты оболочки, а с ней и всего дирижабля, является немаловажным эксплуатационным качеством, так как позволяет уменьшать строительную высоту эллинга и облегчает маневрирование с дирижаблем на земле при боковом ветре.

В некоторых случаях при выборе формы поперечного сечения приходится выполнять и другие дополнительные требования. Для дирижабля, имеющего килевую ферму, расположенную углом наружу, для получения плавной формы и, следовательно, минимального лобового сопротивления желательно, чтобы касательная к кривой поперечного сечения оболочки в точке крепления кила совпадала с направлением наклонного стержня шпангоута. Это требование довольно строго выдерживалось конструкторами полужестких дирижаблей итальянской школы [N-1, N-2, M_г, N-51000 (проект)]. Французские же конструктора, например в дирижабле «Зодиак» V-10, отступают от этого требования, применяя узкий киль, при котором указанная выше касательная и направление стержня образуют тупой угол.

При киле, расположенном углом внутрь, желательно минимальное значение угла между касательной и горизонталью для получения круговой формы судна. Это, однако, может достигаться лишь значительной подтяжкой внутренней подвески.

Трудно установить какие-либо общие правила выбора схемы поперечного сечения оболочки. Можно только привести ряд соображений, облегчающих выбор той или другой схемы. Относительная вытянутость (отношение высоты к максимальной ширине) сечения без подвески при прочих равных условиях очевидно тем больше, чем больше теоретический диаметр оболочки, так как при малых диаметрах абсолютная разница сверхдавлений по низу и по верху сечения будет незначительна, и отступление формы от круговой будет невелико. Поэтому для малых дирижаблей при диаметре 7—10 м можно не усложнять конструкцию введением внутренней подвески, как это было сделано в дирижаблях СССР-В5 и M_г, однако дирижабль РК-27 с кубатурой в 1435 м³ и диаметром миделя в 8,6 м при двух поясах внутренней подвески

имел хорошие эксплуатационные качества. Для полумягких дирижаблей Гудиер типа «Пилигрим», схема которых для кубатур от 1000 до 3000 м³ более рациональна, чем нормальная схема полужесткого дирижабля, наличие внутренней подвески совершенно необходимо.

Для полужестких дирижаблей средней кубатуры (от 3000 до 10 000 м³) применение внутренней подвески уже становится необходимым. Число внутренних поясов в осуществленных конструкциях меняется от одного до трех без какой-либо определенной зависимости. Так, например, один пояс внутренней подвески имеют дирижабли «Зодиак» Е-9 (3500 м³) и N-2 (7200 м³), два пояса имеет РК-27 (1435 м³) и три пояса дирижабль «Зодиак» Е-10 (9000 м³).

Для полужестких дирижаблей большой кубатуры (свыше 15 000 м³) применение внутренней подвески становится безусловно необходимым и увеличение числа поясов рациональным. Осуществленные конструкции дирижаблей и здесь не дают какой-либо определенной связи между размерами дирижабля и числом внутренних поясов. Например, дирижабль N-1 (18 500 м³) имел два пояса внутренней подвески, а дирижабль RS-1 (20 000 м³) один пояс.

Несистематизированные исследования различных поперечных сечений, произведенные в Конструкторском бюро Дирижаблестроя, показывают, что качество сечений для дирижаблей средних и больших кубатур возрастает с увеличением числа поясов. При этом для сечений без подвески и с одной подвеской разница качеств довольно значительна, а при увеличении числа поясов свыше трех и до пяти улучшение качества сказывается слабее и то лишь при больших кубатурах. Есть некоторые основания предполагать, что для полужестких дирижаблей большой кубатуры свыше 30 000—40 000 м³ более рациональной является разобранный ниже схема дирижаблей Форланини.

По нашему мнению можно установить следующие принципы выбора числа поясов. Для дирижаблей до 2500 м³, постройка которых по нормальной схеме полужестких дирижаблей вообще нерациональна, следует делать оболочку без внутренней подвески. Для дирижаблей от 3000 до 6000 м³ следует применять один или три пояса внутренней подвески в зависимости от общей конструкции. Применение двух поясов затрудняет общее конструирование дирижабля (см. выше), а упрощение производства оболочки по сравнению с трехподвесочным сечением не оправдывает указанных недостатков. Для дирижаблей с кубатурой от 8000—9000 и до 30 000—40 000 м³ наилучшим со всех точек зрения является трехподвесочный вариант, дающий высокое качество сечения и неизменный (при изменении сверхдавления) хребтовый меридиан.

Четырехподвесочное сечение обладает всеми недостатками двухподвесочного и более сложно, чем трехподвесочное. Сечение с пятью поясами вызывает ряд конструктивных и производственных трудностей в выполнении внутренней подвески, увеличение же качества по сравнению с трехпоясным сечением получается незначительным. Для дирижаблей кубатурой выше 30 000—40 000 м³, казалось бы, надо применять какие-либо новые схемы, принципиально отличающиеся от классического типа.

Для выбора величины подъемной силы, передаваемой через внутреннюю подвеску, расстояния по периметру сечения между внутренними поясами угла, между горизонталью и касательной к оболочке в точке крепления киля и т. д. никаких общих указаний дать нельзя, так как все это связано с общей схемой каждого данного дирижабля. Наилучшая форма сечений для данного проекта подбирается обычно путем последовательных попыток, число которых зависит от опытности конструктора.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Как уже было указано выше, наилучшим методом определения деформаций оболочек, и в частности формы поперечных сечений, являются гидростатические испытания. Но при проектировании полужесткого дирижабля и даже самой гидростатической модели конструктору необходимо хотя бы в первом приближении знать форму и характеристики поперечного сечения. Существует ряд аналитических, графических и механических методов для определения формы поперечного сечения полужестких дирижаблей.

Почти все эти методы включают в себя ряд допущений. Основным допущением большинства методов является предположение о невесомости оболочки. Вес материи оболочки, направленный в верхней части сечения в сторону, противоположную вертикальной составляющей сверхдавления, уменьшает искажение формы поперечного сечения этим сверхдавлением. В нижней части оболочки имеет место обратное явление. В мягких дирижаблях вес оболочки составляет значительный процент от подъемной силы сечения, и поэтому учет влияния веса материи необходим для получения достаточно точных результатов. В полужестких дирижаблях вследствие меньшей величины полетного сверхдавления и наличия внутренней подвески можно применять относительно более легкие материи. Как пример можно указать, что для мягкого дирижабля объемом в 5000 м³ применяется та же материя, что и для полужесткого дирижабля объемом в 18 500 м³.

Ниже в табл. XII дано сравнение весов оболочек и подъемных сил отсеков длиной (по оси дирижабля) в 1 м для мягкого и полужесткого дирижаблей. Диаметры отсеков приняты равными теоретическим диаметрам миделей оболочек. Вес материи принят равным 0,5 кг/м².

Таблица XII

Наименование	Номинальный объем м ³	Диаметр миделя	Объем отсека м ³	Поверхность отсека м ²	Вес оболочки отсека кг	Вес оболочки на 1 м ³ объема отсека
Мягкий дирижабль .	5 000	12,9	131	40,5	20,25	0,152
Полужесткий дири- жабль	18 500	19,0	283,5	59,7	29,85	0,105

Следовательно, допущение о невесомости оболочки дает для полужесткого дирижабля меньшую ошибку, чем для мягкого.

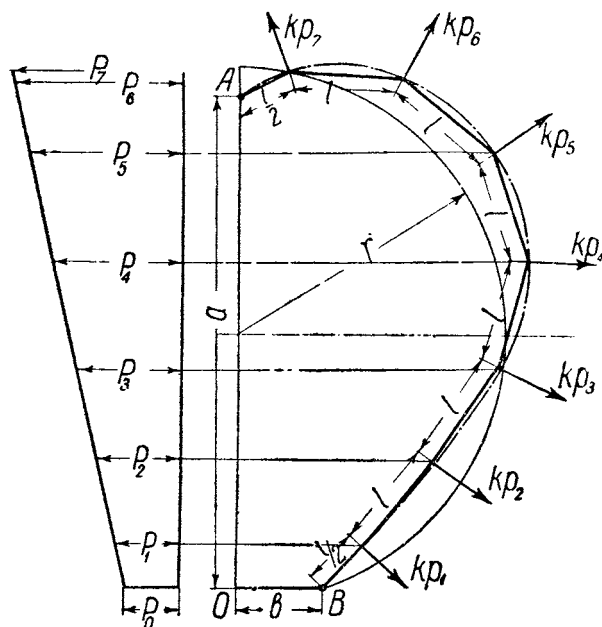
Вторым и третьим допущениями большинства методов является предположение, что продольные напряжения от изгиба не влияют на форму поперечного сечения и что вся подъемная сила сечения воспринимается приложенной к сечению нагрузкой, т. е. перерезывающая сила в сечении равна нулю. Первое предположение не вводит никакой ошибки, если, как это обычно принято, изучается форма сечения у миделя, где оболочка имеет почти цилиндрическую форму. В этом случае продольные напряжения перпендикулярны к плоскости сечения, и их проекции на эту плоскость равны нулю. Для современных полужестких дирижаблей, у которых жесткость килевой фермы значительно больше жесткости оболочки, также допустимо и второе предположение, так как перерезывающие силы почти полностью воспринимаются килевой фермой.

Четвертым допущением является предположение о нерастяжимости материи. Так как практически растяжение материи по периметру поперечного сечения достигает 6—8%, то это допущение может внести значительную ошибку. Но вместе с тем, определив в первом приближении натяжение материи, можно по нормальным характеристикам найти ее деформацию и повторить построение поперечного сечения оболочки, взяв новый периметр. Третья попытка, если в этом встретится необходимость, дает совершенно точные результаты.

В настоящее время практически применяемым методом построения форм поперечных сечений является метод механической имитации действия сил газового сверхдавления на гибкую нить, закрепленную в двух или больше точках. Этот метод, разработанный итальянскими конструкторами, с успехом применяется в конструкторских бюро Дирижаблестроя для исследования самых сложных (например типа Форланини) схем поперечных сечений. Сущность этого метода заключается в том, что, заменяя отсек оболочки гибкой нитью, закрепленной по концам, мы нагружаем эту нить через равные интервалы сосредоточенными силами, направленными по нормали к кривой и изменяющимися по величине пропорционально изменению сверхдавления газа. Так как мы заменяем распределенное сверхдавление газа сосредоточенными силами, то наша нить принимает форму некоторого многоугольника с вершинами в точках приложения сил, которые в этом случае должны быть направлены по биссектрисам углов, образуемых сторонами многоугольника. Приложив ко всем вершинам силы, имитирующие по величине и направлению газовое сверхдавление, мы заставляем нить принять форму, соответствующую форме поперечного сечения. Перенеся на бумагу положения вершин многоугольников, соединяем полученные точки плавной кривой, являющейся ободом поперечного сечения.

Очевидно, что подобие получающейся кривой форме поперечного сечения требует только пропорциональности нагрузок, но не зависит от абсолютной величины этих нагрузок и выбранного линейного масштаба. Для удобства соблюдения подобия нагрузки необходимо, чтобы все интервалы между точками приложения нагрузок были равны между собой. Тогда нагрузка на каждый луч определится как произведение величины сверхдавления в точке пересечения этого луча с оболочкой на некоторый постоянный коэффициент k .

На фиг. 122 изображена принципиальная схема определения формы поперечного сечения, где под k подразумевается постоянный коэффициент нагрузки. На этой схеме слева изображена эпюра газового сверхдавления с отметками на горизонталях, проходящих через вершины многоугольника сечения. Расстояние $OB = b$ изображает в выбранном масштабе половину ширины киля; $OA = a$ — высоту внутренней подвески и r — радиус теоретического круга поперечного сечения, т. е. окружности, имеющей длину, равную периметру этого сечения. Сплошной линией показана форма, принятая нитью, закрепленной в точках A и B , а осевым пунктиром плавная кривая, проведенная через вершины многоугольника, — форма поперечного сечения.



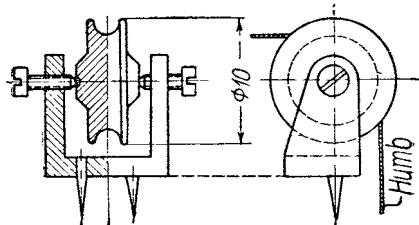
Фиг. 122. Схема построения формы поперечного сечения.

Практически определение формы поперечного сечения производится следующим образом. На специальный круглый стол или обычную чертежную доску накладывается лист бумаги. На листе в выбранном масштабе строятся ширина киля, вертикальная ось симметрии сечения и проводится круг радиусом, равным теоретическому радиусу сечения оболочки. Если наше сечение будет иметь центральный пояс внутренней подвески при одной, трех или пяти подвесках, то для упрощения работы построение можно производить для одной половины сечения. Для сечений без подвески или с четным числом подвесок приходится строить полное сечение.

С одной стороны сечения строим эпюры газовых сверхдавлений по высоте сечения и через определенные интервалы по вертикали (обычно через 1 м натуре) проводим горизонталь. Разбиваем построен-

ную дугу теоретического круга на равные интервалы, причем от точки крепления оболочки к килю и от оси симметрии до ближайших к ним отметок откладываем по половине выбранного интервала. При построении сечений с несколькими поясами внутренней подвески, отметки, ближайшие к точкам крепления внутренних поясов, должны отстоять от этих точек также на половину интервала.

Через нанесенные отметки проводим радиусы, которые продолжаем до краев листа. Проведя где-либо на полях чертежа прямую, равную половине длины периметра сечения оболочки, наносим на эту прямую разметку наших интервалов. По этой прямой натягиваем нитку, огибая ее вокруг булавки, вколотой в одном конце прямой, и привязываем свободные концы к двум булавкам, воткнутым во второй конец той же прямой. На отметках интервалов привязываем к этой нити отрезки нитей (лучи) длиной 1—1,5 м. Нить-оболочку удобно делать из черной толстой (№ 3) хлопчатобумажной нитки, а лучи из такой же белой нитки. К нитке-оболочке привязываются еще в соответственных местах дополнительные лучи, изображающие внутреннюю подвеску. Нить с привязанными к ней лучами прикрепляем ее концами к соответственным точкам чертежа. По краям доски на направлениях проведенных на чертеже радиусов вкалываем специальные ролики, схема которых изображена на фиг. 123. Эти ролики должны вкалываться так, чтобы перекинутые через них лучи могли свободно свисать вниз, не касаясь краев доски.



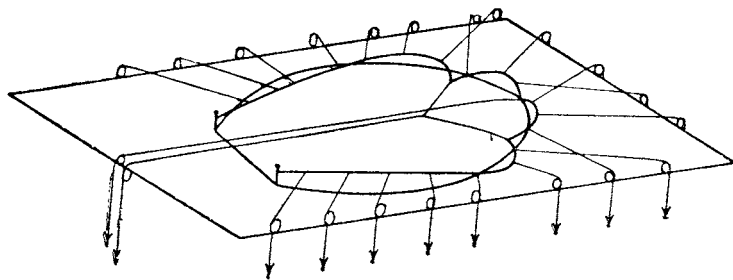
Фиг. 123. Ролик установки для построения сечений.

Для проверки правильности всей установки загружаем все лучи одинаковыми грузами. Обычно грузы в виде пластинок трехугольной и квадратной формы подбираются так, чтобы 1 г соответствовал давлению в 1 кг/м^2 , грузы должны иметь разновески до 0,2 г. Для первоначальной проверки рекомендуется каждый луч нагружать грузом в 10—20 г, чтобы нити получили определенную вытяжку. При равных нагрузках на лучи нить оболочки должна принять форму правильного многоугольника, симметрично расположенного относительно теоретического круга, нанесенного на бумаге. После проверки внутренняя подвеска закрепляется в некотором исходном положении, и сечение загружается соответственно эпюре нормального полетного сверхдавления, обычно принимаемого в полужестких дирижаблях равным от 8 до 15 кг/м^2 по низу миделевого сечения. В случае работы с полным сечением, надо одновременно загружать симметричные лучи.

После того как сделана первая загрузка, точки крепления лучей сместятся со своего первоначального положения, и лучи не будут составлять продолжение биссектрис. Исправляем нагрузки сообразно перемещениям точек крепления лучей по высоте и направления лучей путем перестановки роликов и повторяем эту операцию до получения достаточно точных результатов.

Когда направления лучей и величины нагрузок окончательно отрегулированы для первого положения внутренней подвески, начинаем, сохраняя загрузку и направление лучей, варьировать подтяжку внутренней подвески до получения желаемых результатов. Если, например, основной целью при подборе сечения является получение наибольшей площади, то варьлируем внутреннюю подвеску так, чтобы площадь сечения на-глаз равнялась площади начерченного теоретического круга. Если же при этом требуется еще получить равные натяжения среднего и двух крайних поясов внутренней подвески, то лучи, изображающие эту подвеску, не закрепляем неподвижно, а перебрасываем через ролики и загружаем одинаковыми грузами, варьлируя их величины до тех пор, пока площадь сечения не будет близка к площади теоретического круга.

После окончательного установления размеров внутренней подвески, закрепляем ее в этом положении, исправляем окончательно направления и загрузку лучей и переносим вершины многоугольника на чер-



Фиг. 124. Схема установки для построения поперечных сечений.

теж. Это и даст выбранную форму поперечного сечения при нормальном сверхдавлении.

Для исследования изменения параметров сечения при изменении сверхдавления, строго сохраняем закрепленные точки сечения (крепление оболочки к килю, длины внутренних поясов и подвески) и изменяем нагрузку, согласно эпюре нового выбранного сверхдавления. Так как при этом форма поперечного сечения изменится, то и окончательные результаты при изменении сверхдавления мы получим лишь после нескольких исправлений направлений и загрузки лучей. Окончательно установив сечение, переносим опять вершины многоугольника на чертеж. Общая схема установки для построения формы поперечного сечения изображена на фиг. 124.

После определения формы поперечного сечения при различных сверхдавлениях и режимах наполнения оболочки необходимо найти все характеристики каждого сечения. Площадь сечения определяется обычно планиметром или (при большом масштабе чертежа) методом Чебышева или методом трапеций. Для сечений с несколькими подвесками разбиваем всю площадь на отдельные части и, определив площади каждой из этих частей, суммируем их. Линейные размеры и характерные углы замеряем графически, для чего чертеж сечения должен быть выполнен точно и аккуратно.

Натяжения в отдельных элементах сечения лучше всего определять графически. Предположим, например, что требуется определить натяжение в трехподвесочном сечении, изображенном на фиг. 125. Здесь T_1 и T_3 обозначают натяжения материи оболочки в кг/м в соответственных интервалах; T_4 и T_6 — натяжения внутренних поясов; T_2 и T_5 — проекции натяжений T_1 и T_4 на вертикаль. Натяжения оболочки в точках A , B , C очевидно направлены по касательным к оболочке в этих точках. Определение направления касательных должно производиться с применением зеркальной линейки и с наивысшей тщательностью, так как от этого зависит точность последующих расчетов.

Зададим силе T_1 произвольное значение в условных линейных единицах, например примем ее равной 100 мм. Тогда, последовательно обходя все узлы пересечений, определим из условий равновесия этих узлов значения всех натяжений, выраженных в тех же условных единицах. Напишем теперь уравнение равновесия оболочки, проектируя все силы на вертикаль:

$$T_2 + T_5 + T_6 = \Omega \phi + b p_0; \quad (204)$$

здесь Ω — площадь половины поперечного сечения в м^2 .

Но с другой стороны

$$T_2 + T_5 + T_6 = L \text{ (мм)}. \quad (205)$$

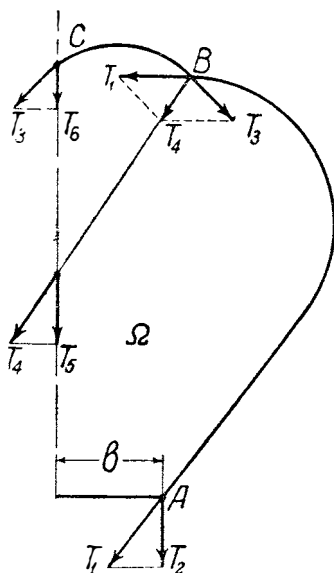
Отсюда находим масштаб натяжений:

$$m = \frac{\Omega \phi + b p_0}{L}. \quad (206)$$

Умножая значения T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 и T_6 , выраженные в мм, на масштаб натяжений m , получаем натяжения в кг/м .

Для сечений с большим числом внутренних поясов (в типе Форланини до 14) такое определение может дать значительные ошибки, вследствие трудности точного проведения касательных к кривым в узлах. Поэтому для таких сечений лучше вырезать участки оболочки между узлами и рассматривать равновесие отсеченной части под действием сил сверхдавления и натяжений оболочки. Этот метод, конечно, удобно применять в том случае, если кривизна дуги сечения значительна.

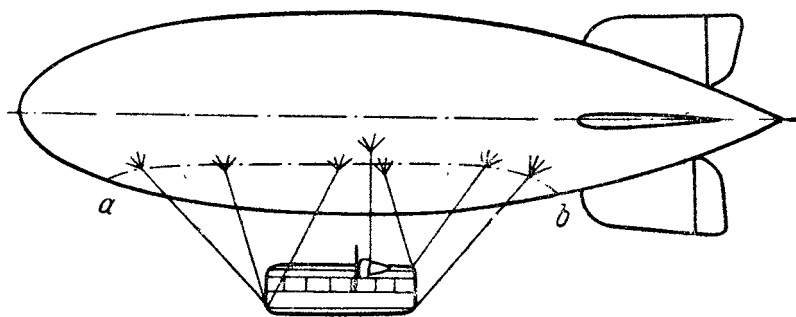
Центры тяжести сечений, моменты инерции их площадей и периметров и т. д. определяются с чертежа сечения графически или одним из методов, применяемых для фигур с произвольными очертаниями. Совпадение сечений, построенных описанным методом, с результатами гидростатических испытаний по нашим наблюдениям вполне удовлетворительно.



Фиг. 125. Определение натяжений в элементах сечения.

Как было указано в разделе V, этот же метод механической имитации может применяться и для построения формы поперечных сечений мягких дирижаблей. При этом построении допускают, что подъемная сила сечения уравнивается натяжением фиктивных строп, лежащих в плоскости этого сечения. Для построения сечений с фиктивными стропами, проводим на боковом виде оболочки (фиг. 126а) между точками касания строп линию $a — b$, принимаемую в дальнейшем за среднюю линию подвески.

На окружности, изображающей теоретическую форму поперечного сечения (фиг. 126b), наносим точки A' пересечения средней линии подвески данного сечения. К нитке 1, изображающей периметр сечения, привязываем в точках A нитки-лучи 2, представляющие фиктивные стропы подвески. Сохраняя круговую форму сечения, наносим на чертеже теоретическое положение гондолы 3 и прикрепляем лучи 2 к булавкам 4, воткнутым в местах крепления строп подвески к гон-



Фиг. 126а. Определение средней линии подвески.

доле. Таким образом нитка сечения 1 оказывается прикрепленной к чертежу подобно тому, как в натуре оболочка дирижабля прикреплена к гондоле.

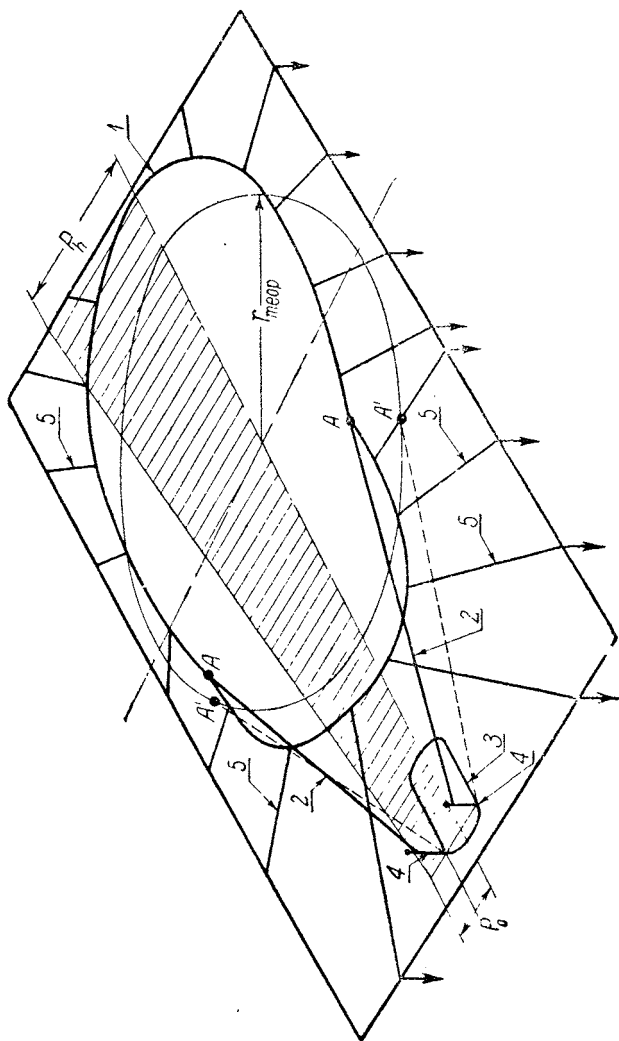
Последующее загрузку лучей 5 и определение формы сечения при различных сверхдавлениях производится так же, как это было описано выше для полужестких дирижаблей. Так как низшая точка сечения при изменениях сверхдавления будет перемещаться по вертикали, то плоскость для отсчета сверхдавления следует проводить через какую-либо точку сечения гондолы, например через точки крепления строп к гондоле, как это показано на фиг. 126b. Недостатки этого метода в применении к мягким дирижаблям следующие:

1) некоторая произвольность выбора средней точки крепления фиктивной стропы к оболочке;

2) выпучивание нитки-оболочки ниже точек крепления строп, происходящее вследствие того, что на модели стропы не лежат на оболочке, как в натуре. Указанное выпучивание приходится сглаживать на чертеже, вводя тем самым некоторую неточность построения;

3) в натуре подъемная сила большей части сечений уравновешивается с участием касательных напряжений, которые здесь не учитываются.

В отношении последнего пункта следует заметить, что учет касательных напряжений, вообще говоря, возможен, но значительно усложняет работу.



Фиг. 126в. Схема определения формы сечения мягкого дирижабля.

По сравнению с указанными ниже аналитическими и графическими методами этот механический метод имеет то преимущество, что результаты получаются сразу вполне определенными, если в числе заданных величин стоит длина периметра оболочки, как это и бывает на практике. Правда, за счет разности длин периметров многоугольника и кривой, огибающей этот многоугольник, длина дуги кривой получается не-

сколько больше заданной, но обычно этой ошибкой можно пренебречь или в случае необходимости избежать ее предварительным уменьшением длины нити. Однако тут надо иметь в виду, что в действительности материя оболочки дает удлинения от сверхдавления газа. Большим преимуществом этого метода является еще то, что варьирование длиной внутренней подвески и даже числом внутренних поясов производится здесь очень наглядно и с небольшой затратой времени. Можно считать, что при этом методе на выбор формы поперечного сечения и исследования его деформаций на шести различных режимах требуется 10—12 час. вместо нескольких недель, нужных для работы графическими и аналитическими методами. При масштабах сечений в $1/_{20}$ — $1/_{50}$ точность получается вполне достаточной для проектирования, так как масштаб гидростатической модели — основного приспособления для исследования деформаций матерчатых оболочек — равен $1/_{30}$. Применяя дополнительные лучи, легко производить имитацию веса оболочки и касательных напряжений, предварительно определив их значения. Все это заставляет признать этот метод наилучшим для практического применения при проектировании оболочек дирижаблей.

Кроме описанных выше методов определения формы поперечных сечений оболочек, существует еще ряд методов, чисто аналитических, графических, графо-аналитических и механических.

При проектировании американского полужесткого дирижабля *RS-1* был применен чисто аналитический метод определения формы поперечных сечений, предложенный У. Пэгеном. При разработке этого метода также были приняты допущения о невесомости оболочки и об отсутствии перерезывающих сил. Основное уравнение, принятое в этом методе, есть уравнение равновесия гибкой нити, несущей нормальную к ней нагрузку, распределенную по закону изменения сверхдавления газа. Это дает постоянство натяжения нити по всему периметру сечения между двумя соседними точками подвеса.

Задаваясь какими-либо четырьмя характерными величинами данного сечения, можно, решая уравнение путем последовательных приближений, найти основные параметры, определяющие данное сечение, а затем, пользуясь рядом выведенных сравнительно простых формул, определить координаты сечения и все его характеристики: натяжения оболочки и подвески, площадь сечения, моменты инерции площади и периметра сечения и т. д.

Недостатком этого метода являются кропотливость и длительность решений основных уравнений путем последовательных попыток с применением таблиц эллиптических интегралов и необходимость повторять эти попытки при исследовании сечения при других величинах начального сверхдавления.

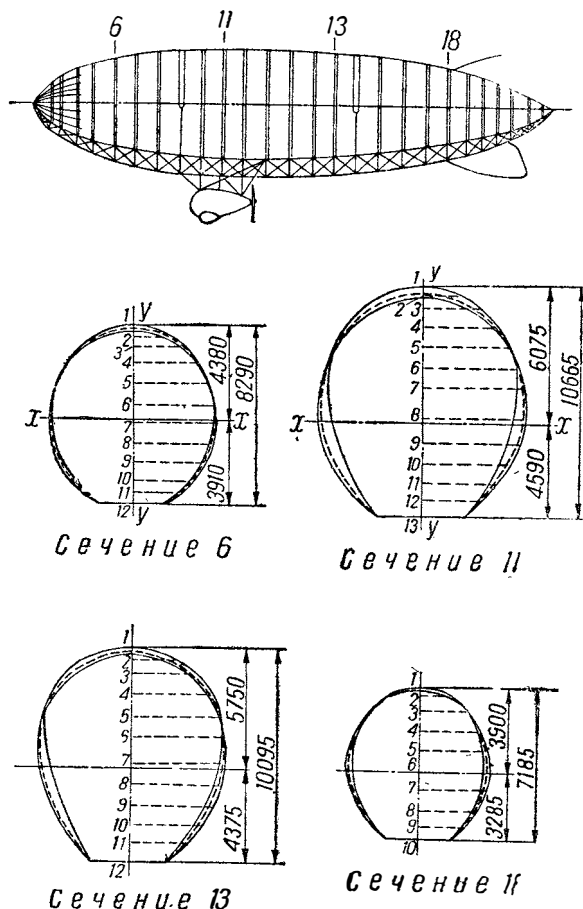
Для облегчения этой задачи Пэгеном предложен ряд графиков, позволяющих находить по ним основные параметры, выраженные в коэффициентах, отнесенных к сверхдавлению в наивысшей точке сечения. Применение этих графиков значительно облегчило бы определение основных параметров сечения. К сожалению, графики, имеющиеся в книге Пэгон «Нежесткие дирижабли», получили искажения в процессе печатания и пользование ими не дает необходимой точности.

У нас в Союзе вычислений и построений этих графиков не производилось. Подробно этот метод изложен в книге Blakemore and Pagon «Pressure airships», глава XIV.

Аналитический метод определения формы поперечного сечения был предложен В. И. Стрельчевским и опубликован в 1927 г. в сборнике Ленинградского института инженеров путей сообщений, выпуск 96. Этот метод у нас практически не применялся.

Оригинальный графический метод определения формы поперечных сечений был предложен Эвансом (The cross-section of the semi-rigid airship, by F. G. Evans. The journal of the Royal Aeronautical Society, № 236, 1930). Этот метод заключается в последовательном построении чертёжом ряда веревочных многоугольников, изображающих поперечное сечение, находящееся под действием заданных сил. В общем этот метод схож с описанным выше методом механической имитации с помощью нитки, с той лишь разницей, что последовательные формы поперечных сечений получают при помощи построения соответственных веревочных многоугольников на чертеже. Этот метод позволяет учитывать вес оболочки, присутствие воздуха в баллонах и пр.

Известным итальянским инженером Крокко был предложен прибор для механической имитации формы поперечного сечения, так называемый «флексиограф Крокко». Описание этого прибора, основанного на изгибе плоской стальной пружины, имеется в упомянутой выше книге «Pressure airships». Экземпляры прибора имеются у нас в Союзе, но практического применения он у нас не получил.



Фиг. 127. Формы поперечных сечений дирижабля СССР-В5.

Аналитический метод определения форм поперечных сечений мягкого дирижабля опубликован в книге Гаас и Дитциуса. Недостатком метода является сложность и громоздкость требующихся вычислений, в особенности при учете перерезывающих сил.

Кроме указанного, имелся ряд попыток дополнить существующие методы. Такие попытки производились, например, А. Г. Воробьевым и Е. А. Иконниковым и опубликовались в нашей периодической литературе.

Чтобы закончить рассмотрение свойств поперечных сечений дирижаблей, рассмотрим влияние сверхдавления на формы и площади поперечных сечений.

По заданию НИО Дирижаблестроя инж. Болобан произвел в натуре исследование форм поперечных сечений дирижабля СССР-В5 объемом 2158 м³, не имеющего внутренней подвески. Результаты этого исследования были опубликованы в статье «Экспериментальное исследование формы и объема дирижабля СССР-В5 как функции сверхдавления газа» (см. «Технический бюллетень Дирижаблестроя» № 1 (7) 1934 г.). Дадим некоторые результаты этих исследований.

На фиг. 127 изображены сечения дирижабля при различных давлениях. В приводимой ниже таблице мы даем взятые из этой статьи изменения площадей поперечных сечений в зависимости от сверхдавления.

Таблица XIII

№ сечения	С е давление в мм вод. ст.					
	0		12		18	
	площадь м ²	о/о	площадь м ²	о/о	площадь м ²	о/о
6	51,29	100	51,96	101,3	52,16	101,7
11	75,23	100	77,83	103,4	78,48	104,3
13	66,61	100	69,12	103,7	69,66	104,5
18	37,50	100	38,53	102,7	39,19	104,5

Из этой таблицы, помимо абсолютных увеличений площадей поперечных сечений, можно видеть, что:

а) чем меньше по абсолютной величине сечение, тем ближе его форма к форме круга;

б) чем больше сверхдавление, тем ближе форма любого сечения к форме круга;

в) чем меньше по абсолютной величине сечение, тем меньше изменяется его площадь при изменении сверхдавления.

Приведем еще некоторые данные Пэгона о теоретическом изменении площадей двухдольных сечений при перемене сверхдавления. Сечение А имело следующие размеры: длина половины периметра сечения 31,5 м, высота внутренней подвески 19,7 м; сечение В: периметр 28,2 м; высота внутренней подвески 17,08 м.

По площадям сечения А определяли объемы дирижабля, считая, что относительные изменения площади всех сечений были такими же,

Таблица XIV

Площадь сечений м^2	Сверхдавление в мм вод. ст.					
	0	6,3	12,7	19	25,4	∞
A	170,4	176,8	182,3	185,0	186,0	186,0
B	130,1	135,9	138,5	139,5	139,5	139,6

как у сечения А. Полученные таким образом результаты сопоставляются ниже с объемами, определенными при испытании гидростатической модели.

Таблица XV

Сверхдавление кг/м^2	Вычисленные		Гидро модель	
	объем м^3	%	объем м^3	%
0	19 420	100,0	19 400	100,0
6,3	20 210	104,1	20 320	104,8
12,7	20 700	106,6	20 620	106,4
19	20 880	107,5	—	—
25,4	20 900	107,6	—	—
∞	20 950	107,8	—	—

Изменение объема с изменением сверхдавления позволяет дирижаблю перемещаться в некоторых пределах по высоте без выпуска газа или пополнения баллонов. Связь между изменениями сверхдавления и объема и вертикальными перемещениями (вблизи уровня моря) показана в следующей таблице.

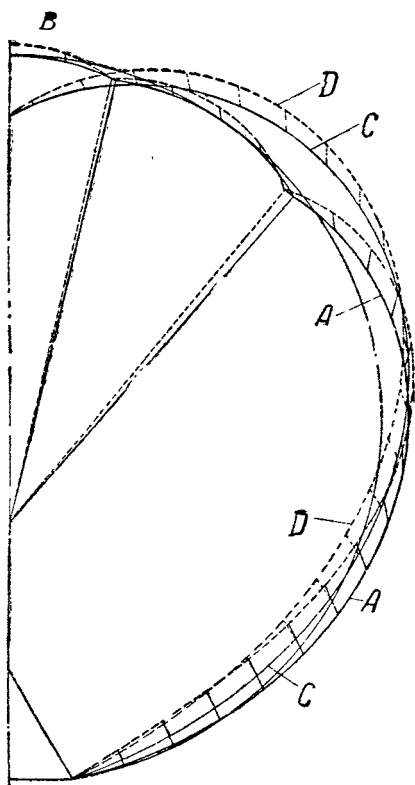
Таблица XVI

Изменение сверхдавления кг/м^2	от 0 до 6,3	от 6,3 до 12,7	от 12,7 до 19,0	от 19,0 до 25,4	от 25,4 до ∞
Изменение объема, %	4,1	2,5	0,9	0,1	0
Изменение высоты, м	360	220	80	10	0

Упругие удлинения материи здесь не учтены.

Влияние числа подвесок на форму поперечного сечения оболочки и на деформации сечения при изменении сверхдавления хорошо видно из кривых фиг. 128, взятой из книги Пэгона. Сечение имеет радиус теоретического круга $R = 10,474$ м и постоянную при всех подвесках ширину киля.

Кривая А — четырехподвесочное сечение при сверхдавлении в 12,7 мм вод. ст.



Фиг. 128. Изменения формы сечения в зависимости от числа поясов.

Кривая *B* — четырехподвесочное сечение при сверхдавлении 0 мм вод. ст.

Кривая *C* — одноподвесочное сечение при сверхдавлении 12,7 мм вод. ст.

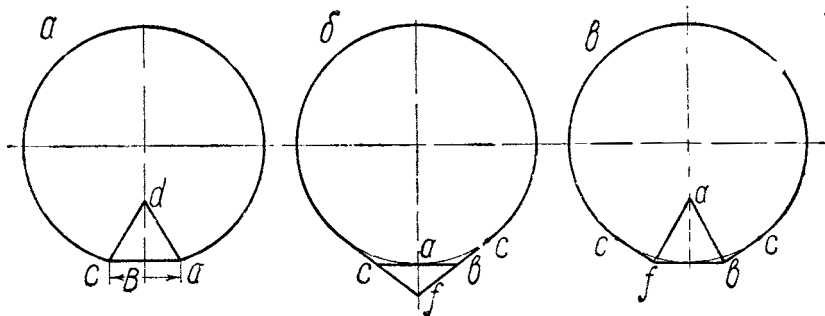
Кривая *D* — одноподвесочное сечение при сверхдавлении 6,1 мм вод. ст.

При четырех подвесках мы получаем выигрыш в качестве сечения за счет его большей площади и меньших натяжений материи.

§ 3. РАСКРОЙ И КОНСТРУКЦИЯ ОБОЛОЧЕК

Оболочка полужесткого дирижабля образуется обычно как тело вращения кривой меридианального обвода. При трехгранном киле, расположенном углом кверху (фиг. 129, *a*), круговые сечения оболочки срезаются внизу по хордам, соответствующим ширинам киля по низу. Когда трехгранный киль расположен вершиной книзу, сечение оболочки представляет собой часть дуги круга, заканчивающуюся снизу двумя касательными *bc* (фиг. 129, чертеж *б*). Такое же образова-

ние оболочки может применяться и при трехгранном киле, расположенном вершиной кверху (фиг. 129, чертеж *в*).



Фиг. 129. Образования поперечных сечений оболочки полужесткого дирижабля.

Предполагались и другие методы образования оболочек, исходящие из выбранной формы поперечного сечения, деформированного сверх-

давлением и внутренней подвеской. Такое образование оболочки вызывает значительные трудности в раскрое. Вместе с тем практикой советского и иностранного опыта постройки полужестких дирижаблей вполне доказано, что оболочки, образованные одним из трех указанных выше методов, имеют безукоризненную форму.

Следует отметить, что образование сечений оболочки с помощью касательных, увеличивая несколько поверхность оболочки, представляет ряд преимуществ в конструктивном и производственном отношении, благодаря чему и может быть рекомендовано при проектировании оболочек полужестких дирижаблей. Оболочка, образованная тем или другим методом, может быть раскроена одним из разобранных выше способов. При проектировании оболочки американского дирижабля RS-1 был применен метод раскроя по усеченным конусам из 12 полотнищ с поперечными швами, идущими в одной плоскости. Итальянские дирижабли N-1, N-2, N-3, Mг и др. имели меридианальную раскрой с большим числом продольных сплошных полотнищ. Французский дирижабль «Зодиак» E-9 имел оболочку, раскроенную меридианальным методом из 14 полотнищ, разбитых на отдельные трапеции поперечными швами, идущими в одной плоскости. Советский полужесткий дирижабль ДУК-1 (СССР-B7) имел оболочку, раскроенную меридианальным методом из 10 полотнищ с разбивкой на отдельные полотнища поперечными швами, располагающимися в шахматном порядке. Три верхних продольных шва между полотнищами одновременно являются и линиями пришива к оболочке внутренних катенарных поясов. Нерациональность раскроя по усеченным конусам была нами уже разобрана выше, поэтому применение этого раскроя для оболочки дирижабля RS-1 можно объяснить лишь технической традицией.

Достоинства и недостатки метода меридианального раскроя были рассмотрены выше; здесь сравним принятый в Италии раскрой из продольных полотнищ и принятый в Дирижаблестрое меридианальный раскрой с небольшим числом полотнищ, разбитых на отдельные трапеции.

При раскрое из продольных полотнищ число полотнищ зависит от длины периметра миделевого сечения и ширины материи. Обычно число полотнищ получается достаточно большим, например, для дирижабля объемом в 18 500 м³ приходится брать 36 полотнищ. По направлению больших напряжений (поперек оболочки) в этом случае направлен более слабый и более деформирующийся уток параллельного слоя материи. Для предохранения оболочки от разрушения при случайных надрывах и для усиления ее в поперечном направлении итальянские конструктора накладывают на оболочку по поперечным сечениям, совпадающим с узлами наружных катенарий, силовые ленты из материи достаточной прочности. Эти ленты стягивают оболочку и по прошествии некоторого времени создают на ней заметные перехваты. Чтобы избежать значительных обрывков материи, в носовой и кормовой частях оболочки приходится увеличивать ширину полотнищ, уменьшая их число, что усложняет конструкцию и производство. При больших оболочках непрерывные полотнища имеют длину 80—100 м, что требует или значительной отбраковки материи, или введения поперечных

швов. Правда, итальянская оболочка имеет более красивый вид, а общая длина швов и вес ее меньше, чем при раскрое из меридианальных полотнищ с разбивкой на трапеции.

При раскрое с разбивкой на трапеции число отдельных полотнищ не зависит от ширины материи и может быть снижено до 10 (дирижабль СССР-В7) без всяких неровностей окончательной формы оболочки. Ширина полотнищ может быть выбрана так, чтобы продольные швы совпадали с линиями пришива поясов внутренних катенарий, что при чисто меридианальном раскрое достижимо лишь в виде исключения. Поперечные швы, расположенные на расстоянии ширины материи (1000—1200 мм), усиливают оболочку по направлению основных напряжений, предохраняют ее от раздираия и при расположении в шахматном порядке никаких стягиваний при деформации оболочки не дают. Кроме того, здесь по направлению основных напряжений располагается более прочная и мало деформирующаяся основа параллельного слоя материи. Правда, длина швов при этом раскрое будет больше, чем при чисто меридианальном, и по внешнему виду оболочка, покрытая сеткой швов, менее красива.

Для иллюстрации сказанного допустим, что форма оболочки задана как тело вращения со следующими характеристиками:

Объем теоретический	18 504 м ³
Длина теоретическая	105 м
Диаметр миделя	18,381 м
Длина меридиана	109,256 м
Поверхность оболочки (полная)	9817 м ²
Площадь сечения миделя	265,9 м ²

Приняв раскройную ширину материи равной 1200 мм, получаем при различных способах раскроа следующие длины швов.

Таблица XVII

Тип раскроа	Швы, м		Полная длина швов м	Вес швов кг	Вес швов %/о	Утяжеление кг
	продоль- ные	попереч- ные				
Меридианальный из 36 полотнищ со сдвоенными концами + 2 тангенциальных полотнища	3850	58	3908	228,8	100	0
Меридианальный из 36 полотнищ + 2 тангенциальных полотнища	4240	—	4240	254,5	111	25,7
Трапецеидальный из 12 полотнищ	1352	3430	4782	286,8	125,3	58,0
Трапецеидальный из 10 полотнищ	1250	3430	4600	280,8	122,4	50,0
Трапецеидальный из 10 полотнищ с учетом 3 продольных поясов	790	3430	4220	251,8	109,9	23,0

При этих расчетах длина продольного шва при меридианальном раскрое принималась равной 111,3 м и при трапецеидальном равной 112,5 м. Вес шва во всех случаях принимался равным 60 г/м. При этом наиболее тяжелый вариант составляет 125,3% от самого легкого. Но если сравнить меридианальный раскрой со сдвоенными полотнищами и трапецеидальный из 10 полотнищ, учитывая, что три продольных шва заменяются пришивами поясов внутренних катенарий, то утяжеление получится всего на 9,9% или абсолютно на 23,0 кг. Если же учесть, что при меридианальном раскрое оболочку приходится усиливать силовыми фашами, вес которых для данной оболочки достигает 90 кг, то разница в 67 кг окажется в пользу трапецеидального раскроа.

Сравним оба типа раскроа другим способом. На основании нормальных характеристик примененной материи, считая что продольные натяжения в два раза меньше поперечных, мы получим при трапецеидальном раскрое удлинение периметра миделевого сечения на 4,6%, а при меридианальном на 8%. Следовательно, площадь миделевого сечения увеличивается в первом случае на 9,5%, а во втором случае на 16,3%. Чистые приросты подъемной силы, считая длину оболочки неизменной, будут равны:

$$\Delta U_1 = (18\,504 \cdot 1,095 - 18\,504) \cdot 1,1 = 1955 \text{ кг};$$

$$\Delta U_2 = (18\,504 \cdot 1,163 - 18\,504) \cdot 1,1 = 3395 \text{ кг}.$$

Следовательно, приращение чистой подъемной силы для меридианального раскроа будет больше, чем для трапецеидального, на 1440 кг. Но при увеличении объема для получения заданной скорости требуется увеличить мощность моторов и, следовательно, повысить расход горючего. Часовой расход горючего:

$$p = kU^{\frac{2}{3}},$$

где k есть общий коэффициент, включающий: коэффициент сопротивления, к п. д. винтомоторной группы, удельный расход горючего, плотность воздуха на полетной высоте и скорость полета судна. Считаем, что все эти коэффициенты в отдельности и общий коэффициент k остаются постоянными в первом и втором случае. Тогда:

$$p_1 = kU_1^{\frac{2}{3}} = k(1,095U_1)^{\frac{2}{3}} = 1,062kU^{\frac{2}{3}},$$

$$p_2 = kU_2^{\frac{2}{3}} = 1,105kU^{\frac{2}{3}}.$$

Приняв для данного дирижабля при $v = 30 \text{ м/сек}$ величину $kU^{\frac{2}{3}} = 157,5 \text{ кг/час}$, получим:

$$p_2 - p_1 = (1,105 - 1,062)kU^{\frac{2}{3}} = 67,7 \text{ кг/час}.$$

Следовательно, при времени полета t , равном:

$$t = \frac{1440}{67,7} = 21,3 \text{ часа полета},$$

меридианальный и трапецеидальный раскрои сравниваются между собой.

Сравним между собой оба метода раскроя по их отдельным характеристикам.

Таблица XVIII

Х а р а к т е р и с т и к а	Тип раскроя	
	меридианальный	трапецидальный
Хорошая форма	+	+
Стягивание оболочки фашами	—	+
Совпадение направления основы с основными на- пряжениями	—	+
Минимальный вес и метраж швов	— (при мал. b)	— (при больш. b)
Минимальные деформации оболочки	—	+
Выигрыш в подъемной силе за счет ΔU	+	+
Удобство производства	—	+
Отходы материи	—	+
Точность изготовления оболочки	—	+
" " полотнищ	—	+

По мнению автора для полужестких дирижаблей объемом от 8000—9000 до 24000—25000 м³ следует применять трапецидальный раскрой с числом полотнищ, равным 10, с тем чтобы пришивы поясов внутренних катенарий совпадали с продольными швами. Разбивать полотнища на трапеции следует в шахматном порядке.

При точном конструировании и производстве такой раскрой гарантирует безукоризненно плавную форму оболочки и минимальный вес при меньших, чем при меридианальном раскрое, деформациях оболочки от сверхдавления газа. Эти утверждения проверены на практике.

Для дирижаблей меньшей кубатуры может оказаться более выгодным меридианальный раскрой со сдвиганием полотнищ.

Для дирижаблей больших кубатур (35 000—45 000 м³) есть основания предполагать преимущества трапецидального раскроя, но этот вопрос требует тщательного изучения в каждом отдельном случае.

Практически раскрой производится методом, указанным в разделе V. При этом за ось всех полотнищ — круговых, сдвоенных и тангенциальных — принимаем развернутую дугу меридиана теоретического тела вращения. Для тангенциального полотнища ось является одним из его краев. Подбаллонетное полотнище для дирижабля, имеющего киль, направленный вершиной вниз, будет состоять из двух тангенциальных полотнищ, соединенных между собой краями, являющимися осями этих полотнищ. Раскрой подбаллонетного полотнища для оболочки дирижабля с килем, расположенным вершиной кверху, производят нормальными методами начертательной геометрии, разворачивая боковые поверхности килевой фермы. Во всех случаях после разворачивания подбаллонетного полотнища в его сечения, соответствующие расположению шпангоутов, необходимо вшивать дополнительные вставки, ширина которых (по оси полотнищ) равняется 0,75 периметра сечения соответственного шпангоутного стержня. Эти вшивки делаются

для того, чтобы подбаллонетное полотнище свободно облегалось стержни килевой фермы.

Носовая и кормовая части оболочки заканчиваются, так же как в мягких дирижаблях, шайбой и конусом, если конфигурация носового усиления не требует введения в носовую заделку каких-либо специальных конструкций.

Материя для самой газовой оболочки подбирается по поперечным натяжениям, определенным для миделевого сечения при нормальном полетном сверхдавлении. При этом запас прочности должен выбираться не менее 6—8. Определения продольных напряжений, возникающих в оболочке от изгиба, не производят, так как ни один из существующих методов расчета корпуса полужесткого дирижабля (совместно киля и оболочки) не оказался практически приемлемым. Отсюда следует, что и метод определения характеристических сверхдавлений, описанный в разделе V для оболочек мягких дирижаблей, здесь не применим.

Полетное сверхдавление в полужестком дирижабле в настоящее время устанавливают, исходя из расчета носового усиления, а чаще на основании сверхдавлений, принятых для ранее построенных дирижаблей. Минимальное полетное сверхдавление для полужестких дирижаблей не устанавливается, так как форма и прочность дирижабля сохраняются до известной степени не только при нулевом сверхдавлении, но даже и при значительном подсосе баллонов.

На основании сведений о ранее построенных дирижаблях можно считать нормальное полетное сверхдавление для дирижаблей до 5000—6000 м², равным 4—6 мм вод. ст., до 10000 м² 8—10 мм вод. ст. и от 10000 до 25000 м² 10—12 мм вод. ст. Повышение сверхдавления допускается обычно до 20—25 мм вод. ст. Большие сверхдавления вызывают значительные напряжения в стержнях киля. Во многих расчетах килевых ферм сверхдавление по низу миделя в 60—65 мм вод. ст. принято за разрушающее для элементов киля, воспринимающих сверхдавление газа.

Материя для оболочек должна применяться двух- или трехслойная, диагонально дублированная. При возможности получения трехслойной материи, равной по прочности и весу двухслойной, следует всегда брать трехслойную, как менее газопроницаемую и более стойкую в эксплуатации. Материю почти всегда алюминировать снаружи для увеличения ее выносливости и уменьшения разогревания газа, что весьма важно для больших дирижаблей.

Так как перерезывающие силы, действующие на корпус полужесткого дирижабля, в значительной степени воспринимаются килевой фермой, то диагональный слой, основное назначение которого предохранять материю от раздираания, может быть сделан из более слабого и легкого перкаля, чем основные параллельные слои.

В части оболочки, лежащей между боковыми катенариями и линией пришива баллонета, т. е. в части, отделяющей воздух от воздуха, может применяться облегченная за счет резинового слоя материя, имеющая те же перкали, что и основная материя, но обладающая значительной газопроницаемостью, которая в этом случае не имеет знач-

чения. Получающийся выигрыш в весе достаточно велик, чтобы оправдать применение двух типов материи.

Подбаллонетное полотнище в той части, где оно является действительно подбаллонетным, т. е. отделяющим воздух от воздуха, может делаться из однослойной воздухо непроницаемой материи. Действительно, вся подъемная сила газа воспринимается и передается на килевую ферму боковыми катенариями, и подбаллонетное полотнище нагружается только давлением воздуха в баллонете. Кроме того, стержни и расчалки, а в некоторых случаях и баллонная сеть килевой фермы, значительно уменьшают панели подбаллонетного полотнища, так что напряжения, получающиеся в нем от давления воздуха, сравнительно невелики и однослойная материя их вполне выдерживает. Случайный надрыв подбаллонетного полотнища не вызовет аварии судна, и повреждение легко может быть исправлено даже в полете. Облегчение же по сравнению с многослойной материей достаточно значительно.

Для той части подбаллонетного полотнища, где не имеется баллонета, а также для подкупольной части и покрытия кормового развития, применяется двух- или трехслойная материя с газопроницаемостью не выше основной материи, но не окрашенная алюминиевым порошком. В некоторых случаях эта материя может быть менее прочной и, следовательно, более легкой, чем основная материя, но наличие в ней диагонального слоя обязательно во всех случаях.

Конструкция швов оболочки в газовой и воздушной частях ничем не отличается от описанных в предыдущих разделах.

§ 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДИАФРАГМ

Назначение газовых диафрагм — смягчать переливание газовой массы при тангаже и уменьшать повышение сверхдавления на концах оболочки при значительных диферентах судна — было достаточно подробно разобрано в разделе VI. Здесь более подробно остановимся на значении диафрагм в конструкции полужесткого дирижабля, на выборе их числа и на их расположении.

Как правило, полужесткие дирижабли имеют размеры и относительное удлинение больше, а полетное сверхдавление в 2—3 раза меньше, чем мягкие дирижабли. Следовательно, повышение газового давления на концах оболочки при диферентах для полужесткого дирижабля значительно опаснее, чем для мягкого. Статический восстанавливающий момент, зависящий от расстояния по вертикали между центром подъемной силы и центром тяжести дирижабля, у полужестких дирижаблей относительно меньше, чем у мягких. Отсюда очевидно, что газовое пространство оболочки полужесткого дирижабля должно быть разделено на большее число отсеков, чем в мягком дирижабле. Но, с другой стороны, каждая лишняя диафрагма увеличивает мертвый вес конструкции, поэтому надо стремиться к уменьшению числа диафрагм. Требуется, следовательно, определить число диафрагм, обеспечивающее устойчивость и безопасность полета судна без излишнего его утяжеления.

Решение этого вопроса связано с определением динамической устойчивости судна, зависящей от скоростей переливания газовых масс,

изменения объемов отсеков при изменении сверхдавления, скоростей полета, загруженности дирижабля и степени выполнения баллонетов. Уже заранее можно сказать, что решение такого рода задачи будет чрезвычайно сложно. Насколько нам известно, нигде в советской и иностранной литературе не имеется хотя бы попыток произвести подобного рода расчеты. Поэтому в настоящее время для выбора числа диафрагм приходится обращаться к данным построенных дирижаблей, сведенным в приводимую ниже таблицу.

Таблица XIX

Название дирижабля	Объем номинальный м ³	Длина м	Число диафрагм
М _г -1	1 014	32,3	4 (две не- полные)
СССР-В5	2 156	48,5	3
N-3	7 200	82	6
Зодиак E-10	9 000	80	4
ВУК-1 (СССР-В7)	9 300	78	4
N-1 (Норвегия)	18 500	104,5	9
СССР-В6	18 500	104,5	5
RS-1	21 300	86	3
T-34 (Рома)	34 000	125	10
N-51 (проект)	51 000	173,6	10

Из этой таблицы видно, что никакой закономерной связи между объемом или длиной дирижабля и числом диафрагм не существует. Но все же с годами заметно стремление уменьшать число диафрагм. Это станет совершенно ясным при сравнении дирижабля Т-34 с N-51, в котором при значительно возросшем объеме и длине число диафрагм осталось тем же. Уменьшение числа диафрагм до определенного предела не ухудшает устойчивости дирижабля, но дает значительное облегчение конструкции, что видно хотя бы на примере однотипных дирижаблей N-1 и СССР-В6. Практика полетов дирижабля В6 в трудных метеорологических условиях показала, что, несмотря на уменьшение числа диафрагм с 9 до 5, устойчивость судна вполне удовлетворительна. Поэтому для полужестких дирижаблей нормального типа можно придерживаться следующих соотношений между объемом и числом диафрагм: до 3500 м³ — одна-две диафрагмы, 4000—7000 м³ — три диафрагмы, 7000—12000 м³ — четыре диафрагмы, 12000—22 200 м³ — пять диафрагм и 22 000—30 000 м³ — шесть диафрагм. Для более значительных кубатур этот вопрос требует специального изучения.

Расположение диафрагм может устанавливаться двумя методами. В итальянских дирижаблях принято располагать диафрагмы на равных интервалах по длине судна так, чтобы диафрагмы лежали в плоскостях шпангоутов килевой фермы и вертикальных тросов внутренней подвески. Так это сделано на дирижаблях N-1, N-3, М_г, N-51000 (проект). При этом объемы газовых отсеков, расположенных между диафрагмами, сильно отличаются друг от друга, а мо-

менты подъемных сил отсеков, симметричных по отношению к вертикали центра подъемной силы, относительно этой вертикали не равны между собой. Таким образом, если расположить баллонет в пространстве между крайними диафрагмами, то он окажется несцентрованным относительно центра объема.

Инж. У. Нобиле объясняет выбор такого расположения диафрагм эстетическими соображениями и тем, что диафрагма, прикрепленная к тросу внутренней подвески, значительно разгружается этим тросом при разных давлениях газа в соседних отсеках и при ударах газовой массы. Однако, по мнению автора, такое размещение диафрагм нерационально, так как прикрепление диафрагмы к вертикальному тросу является причиной многих мелких аварий. Действительно, вертикальный трос внутренней подвески имеет вполне определенную длину, определяющуюся высотой сечения, тогда как диафрагма должна иметь по средней линии длину, большую высоты сечения. Поэтому крепление диафрагмы к тросу должно производиться с определенной посадкой. Правильно выдержать эту посадку и установить линию крепления диафрагмы к тросу особенно трудно в той ее части, где вертикальный трос разделяется на два наклонных, прикрепляемых к узлам килевой фермы при вершине кия, направленной вниз. Ошибка в определении места крепления неминуемо вызывает перенапряжение и разрыв диафрагм, что неоднократно происходило на практике.

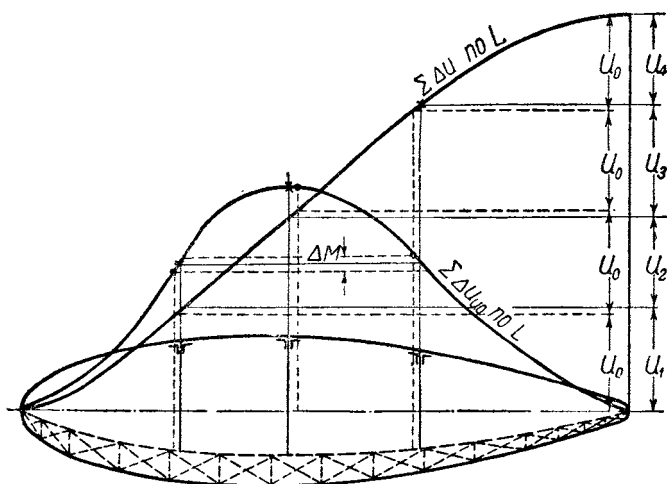
Эстетические же соображения отпадут полностью, если применять трапециевидный раскрой (без силовых фаш) или только отказаться от пришива диафрагм к оболочке и ограничиться одной приклейкой.

Сказанное дает возможность установить расположение диафрагм более рациональным методом, исходя из уравновешенности отсеков и близости их объемов. Для этого можно применить построения, подробно описанные в разделе V при выборе расположения баллонетов мягкого дирижабля. Применение этого метода к полужестким дирижаблям видно из фиг. 130.

Чтобы установить положение трех диафрагм, разбиваем объем оболочки на четыре равные части, для чего делим максимальную ординату интегральной кривой объемов на четыре равных интервала U_0 . Из концов этих интервалов проводим горизонталь (на чертеже показаны пунктиром) до пересечения с интегральной кривой, а из точек полученных пересечений — вертикали до пересечения с интегральной кривой моментов объемов. Из фиг. 130 видно, что положение средней диафрагмы не совпадает с положением центра объема, а крайние отсеки не уравновешены на величину ΔM . Поэтому проводим через центр объема вертикаль до пересечения с интегральной кривой объемов, а из точки пересечения — горизонталь до оси объемов (проведена сплошной линией). Это пересечение определит положение средней диафрагмы. Между пунктирными прямыми, определявшими ΔM , проводим горизонталь до пересечения с моментной кривой. Из точек пересечения проводим вертикали, определяющие те положения крайних диафрагм, при которых крайние отсеки будут полностью уравновешены. Продолжая вертикали до кривой объемов и проводя горизонталь до пересечения с осью объемов, получаем объемы наших отсеков U_1 , U_2 , U_3 и U_4 .

Отсеки получились неравными, но близкими по объему друг к другу. Как видно из чертежа, диафрагмы отстоят на некотором расстоянии от шпангоутов киля. Эти расстояния рекомендуется брать не менее 1000—1500 мм, чтобы диафрагма не касалась подвески. Так установлено положение диафрагм на дирижабле «Зодиак» Е-10 и советском дирижабле ВУК-1 (СССР-В7) и этот метод нами настоятельно рекомендуется к применению при проектировании полужестких дирижаблей. Центровка баллонетов в этом случае получается автоматически.

Для полужестких дирижаблей применяются диафрагмы с отверстиями, достаточными для переливания газа, если в крайних отсеках нет баллонетов, и диафрагмы с малыми отверстиями для постепенного выравнивания давлений, если баллонеты расположены во



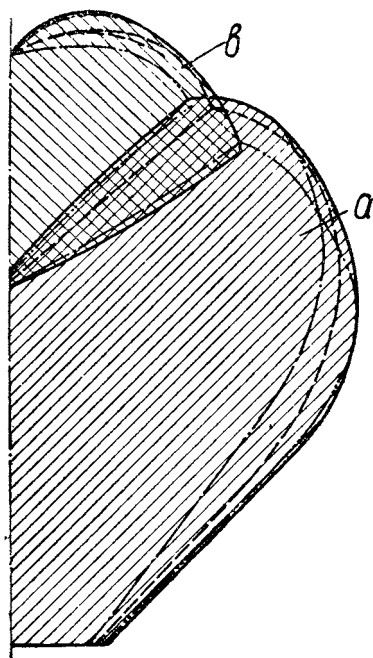
Фиг. 130. Выбор положения диафрагм.

всех газовых отсеках. Диафрагмы первого типа были применены на дирижаблях N-1, M_r, N-3, СССР-В5 и В6. Диафрагмы второго типа применялись на дирижаблях Зодиак Е-10 и ВУК-1 (СССР-В7). По своей эффективности диафрагмы второго типа значительно лучше, поэтому этот тип и может быть рекомендован, тем более что расположение баллонетов во всех отсеках представляет ряд конструктивных и эксплуатационных преимуществ.

Образование диафрагм производится способом, описанным в разделе V, т. е. плоская часть диафрагмы раскраивается как огибающая обводов поперечных сечений при всех возможных сверхдавлениях и режимах наполнений, а ее соединение с оболочкой производится с помощью промежуточных элементов — фаш.

При сечениях с внутренней подвеской плоская часть диафрагмы будет состоять из средней части *a* и верхних секторов *в*, лежащих между подвесками, причем каждая часть образуется по своей огибающей, как это показано на фиг. 131.

Фашу следует присоединять с посадкой 8—10%, но ни в коем случае не ниже 6%. Если же общая посадка превышает 10%, то необходимо вводить промежуточную фашу, которую обычно делают плоской. Соединение фашы с оболочкой, принятое в итальянских полужестких дирижаблях, показано на фиг. 132.



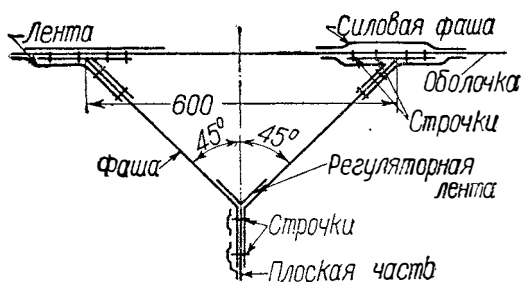
Фиг. 131. Образование диафрагм.

На диафрагму по линии пришива торца баллонета наклеивается усиление шириной 200—300 мм.

Самым ответственным моментом в конструировании диафрагм является выбор размеров и расположения отверстий, соединяющих отсеки. В диафрагмах дирижаблей, не имеющих баллонетов в крайних отсеках, отверстия в диафрагмах выбираются из расчета пропуска объема газа, вытесняемого из средних отсеков в крайние при наполнении баллонетов. Для определения количества протекающего в единицу времени газа берут максимальную скорость подъема или снижения судна, а при определении скорости протекания принимают разность давлений в соседних отсеках, не превышающую 3—5 мм вод. ст. Располагать отверстия нужно так, чтобы при всех возможных

Такая конструкция чересчур сложна в производстве и имеет значительный вес. Пришив фашы к оболочке значительно затрудняет производство и только при наличии наружных силовых фаш не требует дополнительных лент. Прочность всего соединения получается излишней. Конструкция, изображенная на фиг. 100, проверенная на практике, является более удачной в производственном и весовом отношениях. Прочность соединения вполне достаточная.

Раскрой диафрагмы лучше всего производить итальянским способом, как это показано на фиг. 133, т. е. разбивая плоскую часть диафрагм и верхних секторов на полотнища, идущие под углом в 45° к вертикальной оси сечения. Криволинейные очертания краев полотнища координируются от ближайшей отметки, на которые разбиты полотнища.



Фиг. 132. Крепление фашы к оболочке.

положениях баллонета было бы открыто не меньше половины отверстий.

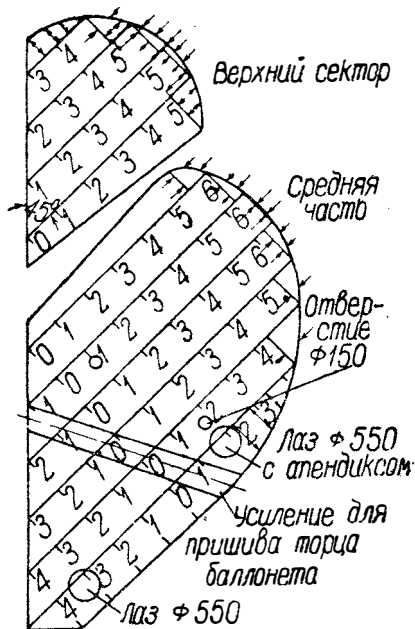
Для дирижаблей, имеющих баллонеты во всех отсеках, величина отверстий должна быть значительно меньше, но каких-либо методов для определения их площади не существует. Можно считать, что для дирижаблей кубатурой 10 000 м³ достаточно трех отверстий диаметром 100 мм. Для других кубатур площадь отверстий можно считать пропорциональной отношениям объемов в степени $\frac{2}{3}$.

Отверстия в диафрагмах должны быть обязательно усилены по кромкам веревкой диаметром 3 мм, сбернутой и заклеенной лентой. В диафрагме несколько выше пришива баллонета должно быть сделано отверстие диаметром 550 мм с коротким (700—1000 мм) апендиксом (фиг. 133). Это отверстие служит лазом для прохода людей при работах с оболочкой, наполненной воздухом. Для разделения отсеков эти лазы закрываются перед газонаполнением завязыванием апендиксов. Иногда для экономии веса апендиксов у лазов не делают, а усиленное забортованной веревкой отверстие заклеивают перед газонаполнением матерчатой шайбой.

Такой же лаз, но уже обязательно с апендиксом, делается в нижней части диафрагмы для прохода в баллонетном пространстве из отсека в отсек не только при сборке, но в случае надобности и во время полета.

В местах пересечений диафрагм поясами внутренней подвески следует вводить дополнительные матерчатые детали, которые допускали бы свободные деформации материала пояса и перемещения диафрагм относительно их линий пришива к поясу. Такие детали в виде матерчатых лент достаточной ширины (100—150 мм) пришиваются к диафрагме и поясу с большой (15—18%) посадкой и образуют некоторую слабину (фиг. 134). Особенно тщательно должно заделываться место прохода троса катенарии. К вертикальному тросу диафрагма прикрепляется с помощью отдельных матерчатых накладок. Место касания троса к диафрагме усиливается сплошной лентой. Необходимо помнить о том, что все пространственные углы в пересечениях диафрагмы с поясами внутренней подвески, баллонетами и т. д. должны быть усилены наложенными с обеих сторон круглыми шайбами из двухслойной материи. Эти шайбы предохраняют углы от раздираания.

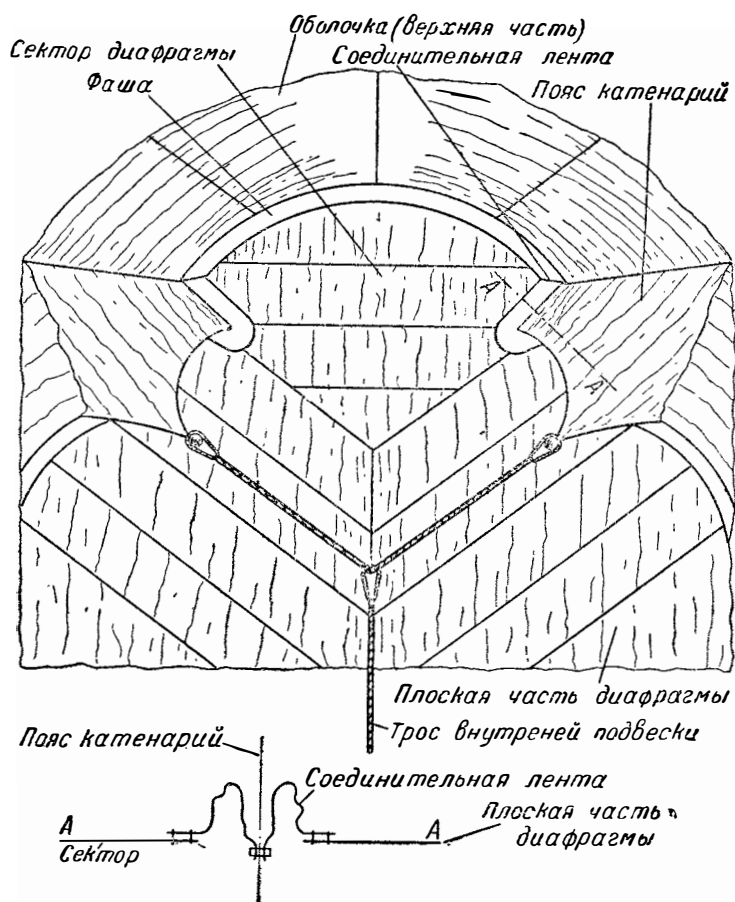
Для изготовления диафрагм обычно применяется однослойная прорезиненная материя с повышенной газопроницаемостью (до 30—



Фиг. 133. Раскрой диафрагмы.

40 л/м² в сутки). Меньшей газопроницаемости для перегородки, отделяющей газ от газа, очевидно, и не требуется. Материя применяется неокрашенная и прорезиненная с одной стороны.

Натяжения в диафрагмах можно было бы определять, задаваясь определенной разностью давлений в отсеках и находя натяжения по возможной стреле провеса. Но помимо этого диафрагмы должны со-



Фиг. 134. Пересечение диафрагмы с внутренними поясами.

противляться ударам газа и воздуха, учет которых очень труден. Обычно таких расчетов не производят, так как практика показала, что получающиеся натяжения вполне позволяют применять однослойную материю.

Для дирижаблей кубатурой в 8000—12 000 м³ можно применять однослойку из легкого перкаля весом 65 г/м² прочностью 550—600 кг/м; для кораблей с кубатурой 18 000—25 000 м³ можно применять однослойку из среднего перкаля весом 95 г/м² прочностью 800—1000 кг/м. Для фаш, испытывающих местные напряжения, рекомендуется приме-

нять более прочную материю, чем для плоской части диафрагмы. Некоторые конструктора применяют для диафрагм прорезиненный шелк, что, по мнению автора, несколько опасно ввиду электролиза шелка при трении, особенно в местах касания диафрагмы с торцами баллонета. Для некоторых итальянских дирижаблей применялись диафрагмы из шелка весом 60 г/м^2 , вес которого после лакировки, производимой для получения некоторой газонепроницаемости, достигал 115 г/м^2 . Для диафрагм дирижабля «Roma» применялся прорезиненный шелк. Вес шелка был равен 75 г/м^2 , резины 105 г/м^2 , следовательно, полный вес материи получился равным 180 г/м^2 . Для дирижабля RS-1 применялась прорезиненная материя из перкаля весом 54 г/м^2 , имевшая полный вес 130 г/м^2 .

§ 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЛЛОНЕТОВ

Роль и работа баллонетов мягких дирижаблей были разобраны в разделе V. Все основные принципы определения объемов баллонетов мягких дирижаблей полностью применимы и для полужестких. Выбор же расположения баллонетов и числа их отдельных отсеков производится методами, отличными от методов, применяемых при проектировании мягких дирижаблей.

Существуют три схемы расположения баллонетов полужестких дирижаблей. Первая схема предусматривает расположение баллонетов по всей длине оболочки от носа до кормы. Если при этом отношение площади сечения баллонета и площади сечения оболочки будет постоянным по всей длине судна, то баллонет получается сцентрированным относительно центра объема оболочки. Эта схема имеет ряд недостатков, основными из которых являются относительно большая поверхность, а следовательно, и вес баллонета, и значительные конструктивные трудности при устройстве баллонета в месте расположения кормового развития. Большая поверхность баллонета вызывает сравнительно быстрое падение чистоты газа вследствие диффузии воздуха сквозь оболочку баллонета. Такая схема расположения баллонета применялась на итальянских военных дирижаблях с плоской килевой фермой типов SCA, PM, OS и на американском дирижабле RS-1, не имевших кормового развития. В настоящее время такая система расположения баллонетов для нормальных полужестких дирижаблей оставлена по приведенным выше соображениям.

Полужесткие дирижабли типов N-1, N-2, M_r, СССР-B5 и B6 имели другую схему расположения баллонетов. Баллонет заключен в отсеках оболочки между крайними носовой и кормовой диафрагмами. При таком расположении баллонет имеет меньшую поверхность и вес, чем при первой схеме. Кормовое развитие, располагаемое обычно за последней кормовой диафрагмой, оказывается вне расположения баллонета. Таким образом эта схема лишена недостатков предыдущей, но зато имеет свои дефекты. В первой схеме каждый газовый отсек оболочки имел соответствующий по объему отсек баллонета. При перемене высоты полета наполнение или опорожнение баллонетов происходило равномерно во всех отсеках и, следовательно, диафрагмы могли иметь небольшие отверстия для выравнивания случайной разности давлений газа в соседних отсеках.

Выше указывалось, что такие диафрагмы значительно более эффективны с точки зрения статической устойчивости судна, чем диафрагмы с большими отверстиями. При расположении же баллонетов только в средней части оболочки, их относительная отдача получается большая (см. раздел V), так как они должны обслуживать и крайние отсеки, не имеющие баллонета. При перемене высоты полета изменение объема газа в крайних отсеках компенсируется изменением объема баллонета и, следовательно, вызывает необходимость переливания газа через отверстия во всех диафрагмах, причем наибольшее количество газа будет проходить через крайние диафрагмы. Очевидно, что отверстия, обеспечивающие такое переливание газа при достаточно большой (6—7 м/сек) вертикальной скорости дирижабля, сильно снижают эффективность диафрагм.

Вторым недостатком такой схемы является то, что баллонет, заканчивающийся на диафрагме, получает плоский торец значительной площади. Давление воздуха у верхней поверхности баллонета несколько превышает давление газа на том же уровне. Если предположить, что верхняя поверхность почти выполненного баллонета будет располагаться на 8—9 м выше нижней точки миделя, то на уровне этой нижней точки воздух в баллонете будет иметь по отношению к давлению газа на этом же уровне избыток давления в 9—10 мм вод. ст. Это избыточное давление вызывает выпучивание и натяжение торца, значительно нагружающие диафрагму и ее пришив к оболочке. Натяжение этого пришива вызывает в свою очередь стягивание материи оболочки, создавая в оболочке дополнительные напряжения и ухудшая ее форму.

Выше говорилось, что дирижабли с таким расположением баллонета N-1, N-2, М., СССР-B5 и СССР-B6 имеют диафрагмы, совпадающие с сечениями шпангоутов килевой фермы и образующие неуравновешенные отсеки. Следовательно, и баллонеты, расположенные в этих неуравновешенных отсеках, будут также не уравновешены относительно центра объема оболочки. При выполнении баллонета возникает некоторый момент, стремящийся изменить диференс судна. Этот момент приходится уничтожать отклонением рулей или перемещением грузов, например горючего, по длине судна. Для уничтожения этого момента передний отсек баллонета дирижабля В-6 имеет относительно большую отдачу, чем все остальные отсеки. Очевидно, что такой прием является палиативом, так как изменение момента будет происходить только при полностью выполненном баллонете, что бывает сравнительно редко. При обычных же степенях выполнения баллонета увеличенная отдача переднего отсека совершенно не сказывается на изменении момента.

Третья схема расположения баллонета стремится избавиться от дефектов, присущих двум первым. По этой схеме баллонет располагается во всех отсеках оболочки, но не доходит до носа и кормы. Границы баллонета определяются условиями уравниваемости объема баллонета относительно вертикали центра газового объема методом, описанным для определения границ баллонета мягкого дирижабля. Объем каждого отсека баллонета выбирается так, чтобы он соответствовал объему отсека оболочки, в котором он расположен. Таким образом средние отсеки баллонета, занимающие всю длину соответственных

отсеков оболочки, имеют одну отдачу, а крайние отсеки баллонета, занимающие только часть отсеков оболочки, имеют отдачу большую, чем средние отсеки. При баллонете, расположенном во всех отсеках, мы не будем иметь надобности в переливании газа сквозь диафрагмы, следовательно, можем применять диафрагмы с малыми отверстиями. Носовой и кормовой торцы баллонета образуются, так же как у мягких дирижаблей, в виде части сферы или тора. Этим мы избавляемся от стягивания оболочки при выполненном баллонете. Поверхность такого баллонета получается несколько большей, чем у баллонета, расположенного по второй схеме, но меньшей, чем при первой схеме.

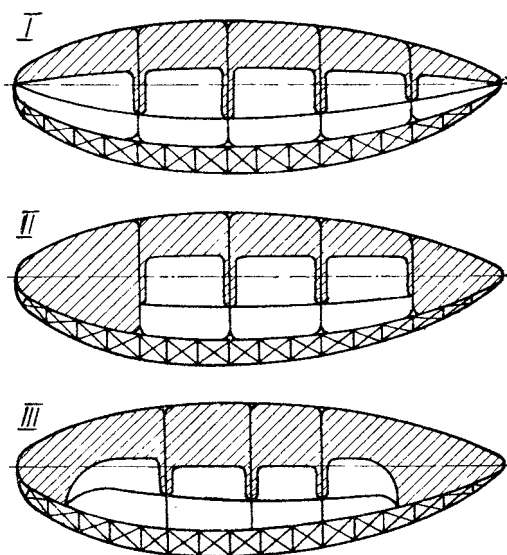
По третьей схеме баллонет расположен у дирижаблей «Зодиак» Е-9 и советского дирижабля ВУК-1 (СССР-В7). Эта схема является наиболее рациональной и поэтому может быть рекомендована при проектировании полужестких дирижаблей.

Все три схемы расположения баллонета изображены на фиг. 135.

Число отсеков баллонета полужестких дирижаблей определяется числом газовых диафрагм. Правда, были некоторые типы дирижаблей, у которых баллонетных отсеков было меньше газовых, т. е. некоторые газовые диафрагмы доходили только до линии пришива потолка баллонета, но вследствие малой устойчивости таких дирижаблей эта система в настоящее время оставлена. Для удобства пилотирования

подача воздуха производится одновременно во все отсеки баллонета, а управление выпуском воздуха сведено в 3—4 группы. Таким образом при пяти отсеках баллонета, сведенных в три отдельные группы, пилот имеет возможность, подавая воздух во все отсеки, выпускать воздух из той или другой группы и, следовательно, наполнять только ту группу отсеков, которую требуется.

При определении поперечного сечения баллонета, зная μ_6 , мы поступаем так же, как при определении сечения баллонета мягкого дирижабля. При этом необходимо только учитывать, что форма поперечного сечения полужесткого дирижабля в его нижней части значительно отличается от формы круга. Поэтому площадь сечения баллонета определяется не как сумма площадей двух сегментов (сегмента баллонета и сегмента оболочки), а как сумма площадей сегмента балло-



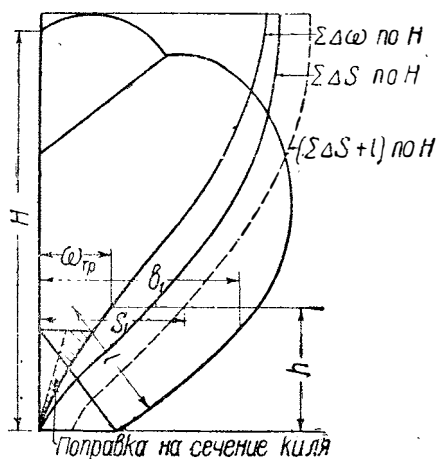
Фиг. 135. Схемы расположения балло-
нетов.

нета и нижней, близкой к трапеции, части оболочки, обозначаемой $\omega_{тр}$.

$$\omega_6 = \omega'_6 + \omega_{тр}.$$

Периметр оболочки $S'_{об}$ будет состоять из дуги оболочки между точкой пришива баллонета и точкой крепления оболочки к килевой ферме и из длины той части оболочки, которая лежит на килевой ферме. Так как форма поперечного сечения оболочки полужесткого дирижабля значительно изменяется при переменах сверхдавления, то определение формы поперечного сечения баллонета следует вести при каком-то определенном сверхдавлении. За такое сверхдавление обычно принимают нормальное полетное давление, равное 8—15 мм вод. ст.

Определение $\omega_{тр}$ и $S'_{об}$ для сечений, построенных методом механической имитации, графическим методом или снятых с гидростатической



Фиг. 136. Определение сечения баллонета.

киль, направленный вершиной вверх, то площадь, занятая килевой фермой, должна вычитаться из площади сечения. Вторая кривая представляет собой интегральную кривую длин дуг периметра половины поперечного сечения для тех же интервалов. Если киль направлен вершиной вверх, то к длине периметра оболочки следует прибавлять длину бокового стержня шпангоута l .

Имея чертеж поперечного сечения с нанесенными на нем интегральными кривыми площадей и длин дуг, можно приступить к определению формы сечения баллонета. Произвольно задаемся высотой линии пришива баллонета h , которую отсчитываем от низа сечения. Для этой величины h определяем по чертежу длину полухорды b_1 и длину дуги S_1 . Тогда по графику фиг. 91 определяем величину угла φ_1 , а по углу φ_1 и все остальные характеристики сечений. Определив площадь верхнего сегмента баллонета ω_1 , прибавляем к ней площадь трапеции $\omega_{тр}$, снятую с интегральной кривой площадей, и получаем:

$$\omega_6 = \omega_1 + \omega_{тр}$$

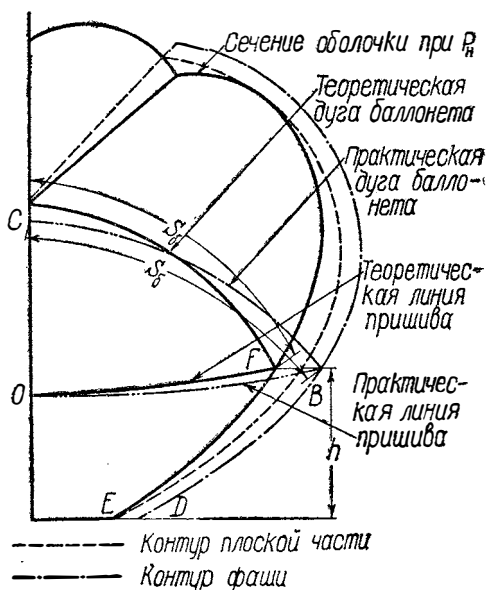
$$\mu = \frac{\omega_6}{\Omega}.$$

Так как мы совершенно произвольно задались значением h , то полученное значение μ не будет соответствовать заданному. Поэтому повторяем наши попытки, изменяя значения h , и по полученным данным, как это указывалось в разделе V, строим графики, по которым и определяем все характеристики баллонета для заданного μ . Определив таким образом характеристики сечения баллонета для миделя оболочки, пересчитываем их по другим сечениям судна посредством коэффициентов подобия.

Если баллонет расположен по третьей схеме, то определение элементов сечения баллонета следует производить отдельно для носовой, средней и кормовой частей, так как для них отдача баллонета будет различна. Производить специальные построения для каждого по длине оболочки сечения излишне, так как все характеристики баллонета могут быть сняты непосредственно с графика для различных значений μ . Значение μ следует определить для каждого случая, пользуясь формулами раздела V.

Образование крайних торцов баллонета, расположенного по третьей схеме, можно производить, пользуясь указаниями, данными в разделе V. Раскрой потолка баллонета производится обычно продольными меридианальными полотнищами с осью, направленной по оси судна. За длину оси полотнища принимается развертка меридиана оболочки, а ширины, выбранные в миделевом сечении по раскройной ширине материи, изменяются по длине судна пропорционально коэффициенту линейного подобия. Число полотнищ для всех отсеков баллонета в средней части остается обычно постоянным.

Раскрой крайних торцов производится тем или иным методом начертальной геометрии в зависимости от их образования. Раскрой плоских торцовых стенок в местах примыкания баллонета к диафрагме (фиг. 137) имеет некоторые особенности. Линия пришива торца баллонета к диафрагме определяется точками F пришива потолка баллонета к оболочке и точкой O пришива торца баллонета к диафрагме на вертикальной оси симметрии сечения. Точка O должна быть выбрана так, чтобы длина периметра продольного сечения баллонета была на



Фиг. 137. Образование торца баллонета.

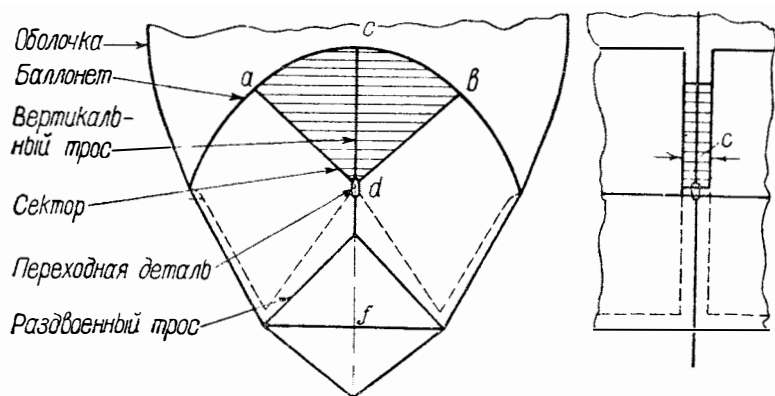
10% больше соответствующей длины периметра оболочки и частей диафрагмы по этому сечению.

Таким образом можно нанести на поперечное сечение оболочки эти три точки: точку O и две точки F и соединить эти точки попарно прямыми, являющимися линиями пришива торца баллонета к диафрагме. Но диафрагма состоит из плоской части, образованной по огибающей поперечных сечений при различных сверхдавлениях, и из фаш, соединяющих плоскую часть диафрагмы с оболочкой. Следовательно, линия пришива торца к диафрагме, нанесенная на диафрагму, окажется длиннее, чем длина линии пришива торца баллонета. Поэтому, определив по поперечному сечению теоретическую форму торца баллонета и его линию пришива FOF , нужно, пользуясь чертежом развертки диафрагмы, определить действительную форму торца баллонета и его линию пришива. Для этого откладываем по внешнему контуру фашу длину DB , равную длине EF , т. е. теоретической длине периметра оболочки от крепления оболочки к килю до линии пришива баллонета к оболочке. Полученную таким образом точку B соединяем с точкой O . Полученная пунктирная прямая является линией пришива торца баллонета к диафрагме. При откладывании длины DB на еще не вшитой в оболочку фаше необходимо учитывать установленную посадку фашу по оболочке, т. е. брать длину DB больше длины EF на величину посадки. Через точку B проводим по гибкой линейке дугу BC , равную по длине половине сечения потолка баллонета S_6 . Площадь, заключенная между кривой BC и прямой OB , представляет собой действительную форму торца баллонета. Переносим полученное очертание торца на отдельный чертеж и раскраиваем эту фигуру, исходя из ширины материи, горизонтальными швами на отдельные полотнища. При таком методе раскроя мы получаем совпадение длин линий пришива на диафрагме и торце и совпадение длины внешнего периметра торца с длиной дуги потолка баллонета.

Для изготовления баллонетов обычно применяется двухслойная параллельно дублированная материя, имеющая газопроницаемость, не большую газопроницаемости материи самой оболочки. Материя из двух параллельно дублированных легких перкалей, применяемая для баллонетов мягких дирижаблей, применяется также и для баллонетов полужестких дирижаблей кубатурой до 5 0000 м³. Так, например, баллонет дирижабля Т-34 был изготовлен из двухслойной параллельно дублированной материи из перкалей весом по 60 г/м² с прорезинкой весом 105 г/м² и полным весом в 225 г/м². Баллонет дирижабля RS-1 был изготовлен из материи весом 240 г/м², состоящей из двух слоев параллельно дублированных перкалей весом по 47,5 г/м² и слоя прорезинки в 145 г/м². Крайние полотнища потолка баллонета, пришивающиеся к оболочке, делаются из той же материи, скошенной под углом в 45°, чтобы избежать стягивания оболочки при ее деформации. Торцы баллонета до линии пришива к диафрагме делаются из той же материи, что и потолок баллонета.

Конструкции шва полотнищ баллонета и его пришива к оболочке те же, что и в мягких дирижаблях. Следует остановиться лишь на конструкции прохода тросов внутренней подвески сквозь баллонет. При киле, расположенном углом книзу, вертикальный трос внутренней

подвески, не доходя до кия, раздваивается на две ветви, идущие обычно под углом в 45° к вертикали. Если тросы внутренней подвески проходят в плоскости каждого шпангоута килевой фермы, как это сделано, например, в дирижаблях N 1 и СССР-В6, то необходимо

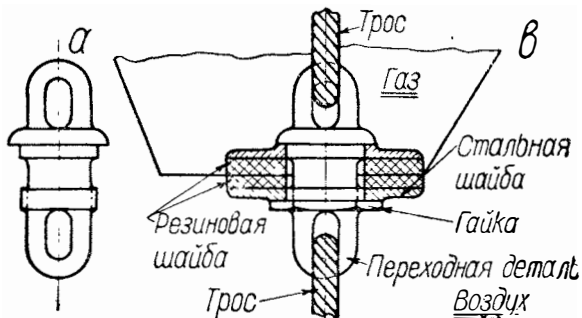


Фиг. 138. Схема баллонетного сектора.

включить в баллонет такую конструкцию, которая позволяла бы потолку баллонета свободно перемещаться от самого нижнего до самого высшего положения. Эта конструкция (фиг. 138) состоит из двух секторов abd , вершины которых d закрепляются посредством специальной переходной детали на вертикальном тросе. Высота такого сектора cd равняется приблизительно половине полной высоты cf потолка баллонета над килем. Угол сектора выбирается так, чтобы при полном выполнении оболочки (опустившемся баллонете) сектор свободно облегал раздвоенную часть внутренней подвески.

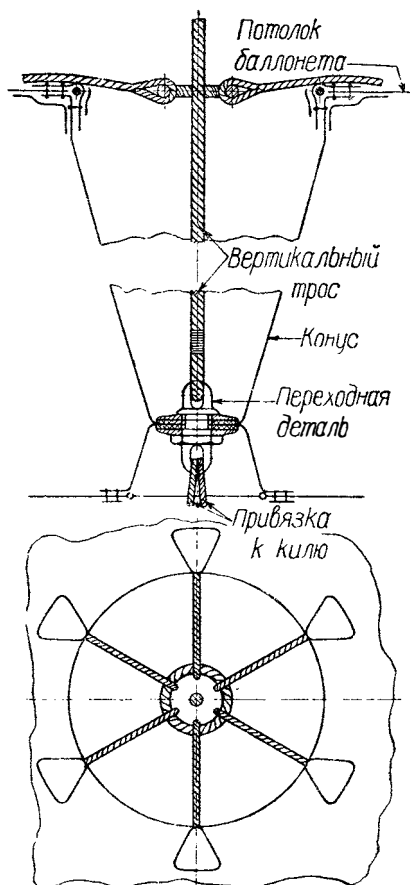
На фиг. 138 сплошной линией показано положение сектора и потолка баллонета при полностью выполненном баллонете и пунктиром — положение сектора и потолка при полностью выполненной оболочке.

Ширина C поперечных стенок, соединяющих сектора, принимается равной 250—300 мм. Пришивы $асв$ сектора к потолку баллонета должны быть усилены, так как в них могут возникать дополнительные напряжения. Также должно быть усилено место крепления переходной детали на вершине сектора.



Фиг. 139. Переходная деталь.

При неправильном выкладывании баллонета, перекосах и т. п. во всех этих местах могут возникать значительные напряжения, так что есть основания заменять параллельно дублированную материю секторов диагонально дублированной. Особенно необходимо усилить места прохода вертикального троса через торец баллонета у линии его пришива к диафрагме. Разнообразные перемещения диафрагмы и



Фиг. 140. Конус прохода вертикального троса.

вой фермы, повернутой вершиной вниз, и за килевую ферму с вершиной, направленной вверх. При таком киле вертикальные тросы внутренней подвески идут, не разветвляясь, до самого крепления к килевой ферме. Переходная деталь располагается на нижнем конце троса у самого крепления к ферме, и от нее к потолку баллонета идет конический рукав (фиг. 140). Этот конический рукав, вытянутый при полном выполнении баллонета, при опускании потолка складывается гармошкой. Чтобы гарантировать рукав от случайных натяжений, его длина берется обычно на 20% больше теоретически необходимой. Место кре-

торца баллонета относительно неподвижного троса внутренней подвески иногда вызвали разрывы материи у переходной детали. Эта переходная деталь служит для пропуска троса сквозь баллонет или оболочку с образованием газонепроницаемого соединения.

Устройство и закрепление на материи переходной детали показано на фиг. 139.

На фиг. 139 видно, что все натяжение троса передается непосредственно через переходную деталь. Гайка служит только для зажима между стальными фасонными шайбами резиновых шайб, дающих газонепроницаемое соединение. Переходная деталь изготавливается обычно из хромоникелевой стали или (для тросов небольшого диаметра) из стали марки С-61-75. Рассчитываются только ушки, все остальные размеры устанавливаются из конструктивных соображений.

Работа описанных выше секторов мало надежна и требует тщательного наблюдения во время их эксплуатации. Вес секторов при подвеске, идущей к каждому шпангоуту килевой фермы, весьма значителен, так как площадь секторов велика, а материя должна быть газонепроницаемой с весом 240—260 г/м². Все это говорит против киле-

пления рукава к потолку баллонета усиливается матерчатыми накладками и забортованной веревкой. У верхнего основания рукава укрепляется веревочное кольцо, скользящее по тросу. Таким образом это устройство, помимо своего основного назначения, предохраняет баллонет от сваливания на одну сторону. Общий вес конструкции значительно меньше веса секторов, а работа этих рукавов вполне надежна.

§ 6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАТЕНАРИЙ И ВНУТРЕННЕЙ ПОДВЕСКИ

Для передачи распределенного натяжения материи оболочки или внутренних поясов на узлы, к которым крепятся или вертикальный трос или привязки к килевой ферме, служат специальные конструкции, называемые катенарным поясом или сокращенно катенариями.

Как известно, гибкая нить, закрепленная в двух точках и нагруженная нагрузкой, равномерно распределенной по ее пролету, имеет форму параболы. Натяжение нити зависит от пролета, стрелы провеса и величины нагрузки. Вертикальные составляющие опорных реакций нитей в сумме равны величине распределенной нагрузки, а горизонтальные составляющие зависят от натяжения нити и угла, составляемого ею с вертикалью в точках крепления.

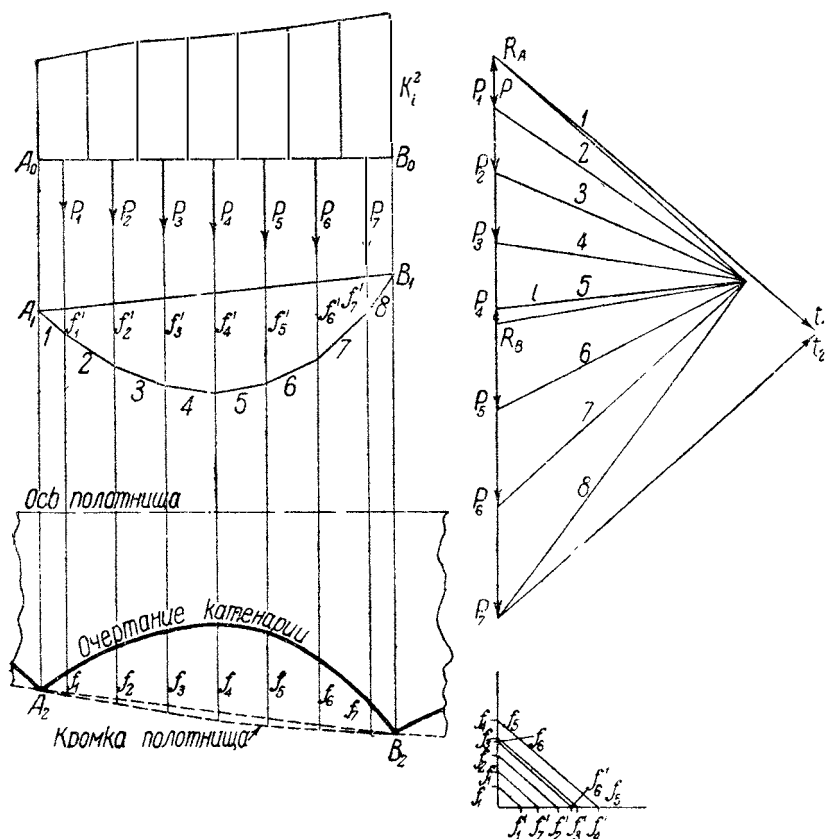
В катенарных поясах гибкой нитью является стальной трос, зашитый по параболе в материи оболочки. Распределенной нагрузкой является натяжение материи, передающееся на трос через его заделку. Вертикальные составляющие в точках закрепления воспринимаются или тросом внутренней подвески, или привязкой кольца катенарии к узлу килевой фермы.

Расчетной нагрузкой для катенарий, как было сказано выше, является натяжение материи. При проектировании оболочки эти натяжения определяются по построенному для миделя при нормальном полетном сверхдавлении теоретическому сечению оболочки. Определенные для миделя натяжения пересчитываются для других сечений путем умножения натяжения в миделе на квадрат коэффициента подобия для данного сечения. При этом мы делаем допущение, что все сечения подобны сечению миделя и что их площади и натяжения изменяются пропорционально квадрату коэффициента подобия k . Ошибка, получающаяся при этом, невелика и ею вполне можно пренебречь.

Таким образом для сечения, изображенного на фиг. 125, мы имеем три кривые нагрузки на катенарные пояса: для наружных катенарий — $T_1 k_i^2$, для центрального пояса внутренних катенарий — $2T_6 k_i^2$ и для боковых внутренних катенарий — $T_4 k_i^2$.

Расчет и определение основных размеров катенарий удобнее всего производить графически отдельно для каждой панели. Для этого разбиваем длину панели на равные интервалы (фиг. 141) и заменяем распределенную нагрузку каждого интервала сосредоточенными силами, приложенными в его середине. Для этих сосредоточенных сил строим веревочный многоугольник с произвольно выбранным полюсным расстоянием. Затем перестраиваем полученный многоугольник так, чтобы его крайние стороны проходили через заданные точки закрепления и чтобы стрела провеса равнялась заданной. Для этого соединяем точки

закрепления прямой и проводим вертикали через середины интервалов, на которые была разбита панель. По этим вертикальным прямым от прямой, соединяющей точки закрепления, откладываем ординаты веревочного многоугольника, перестроенные графически на отношение выбранной стрелы провеса к максимальной ординате. Через концы этих ординат проводим плавную кривую, представляющую очертание катенарии. Проводя на силовом многоугольнике новые направления



Фиг. 141. Построение катенарии.

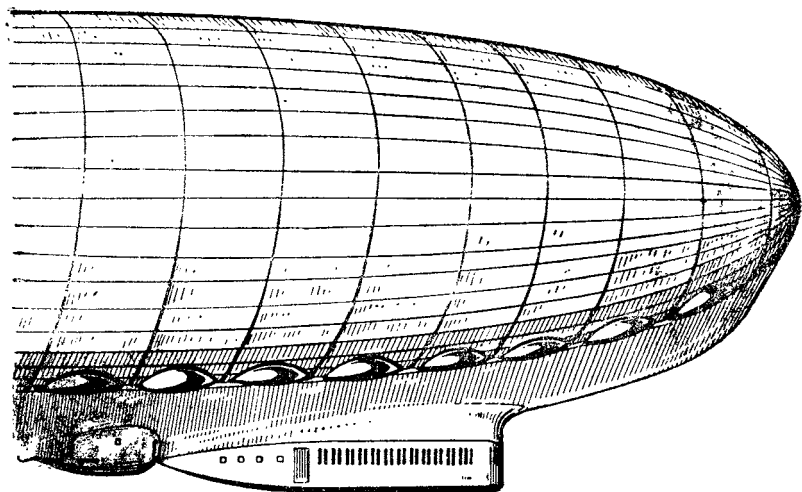
крайних лучей, определяем натяжения троса t_1 и t_2 в узлах закрепления катенарии. Разлагая эти натяжения, определяем горизонтальные и вертикальные составляющие в узлах.

Для катенарий полужестких дирижаблей всегда применяется стальной мягкий трос двойного плетения с пеньковым сердечником.

Диаметр троса определяется по натяжениям t_1 и t_2 с запасом прочности 6—8. Для внешних катенарий стрела провеса выбирается обычно равной от 0,25 до 0,33 длины панели. При большой стреле провеса натяжение троса становится меньше, но с другой стороны полотнища

покрытия катенарий начинают сильнее выпучиваться, образуя, как их называют итальянцы, «французские булки» (фиг. 142).

При проектировании катенарий внутренних поясов, помимо стрелы провеса, приходится выбирать и минимальную ширину пояса. След-



Фиг. 142. Носовая часть дирижабля N-1.

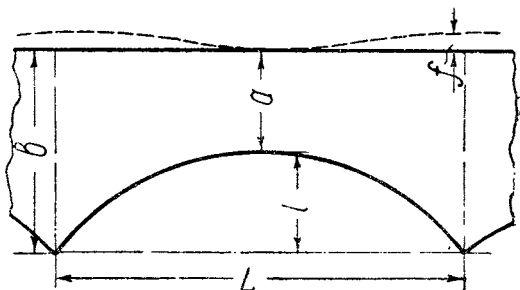
ствие провеса троса ширина пояса изменяется от наибольшей у узла катенарий до минимальной в месте его наибольшего провеса. При одной и той же погонной нагрузке и, следовательно, при одинаковых относительных удлинениях материи ее абсолютные удлинения будут у узлов катенарий больше, чем в месте максимального провеса. Эта разность удлинений, мало сказываясь на форме самой катенарии, вызывает выпучивание хребтовой части оболочки над узлами катенарий (фиг. 143).

Если обозначим (фиг. 143) через: a — ширину пояса в месте наибольшей стрелы катенарии, b — ширину пояса под узлом катенарии, ϵ — относительное удлинение материи при данной нагрузке и c — разность в удлинениях a и b , то, сравнивая два пояса, один с размерами a и b и другой с размерами $2a$ и $2b$, получим:

$$c_1 = \epsilon(b - a). \quad (207)$$

$$c_2 = 2\epsilon(b - a). \quad (208)$$

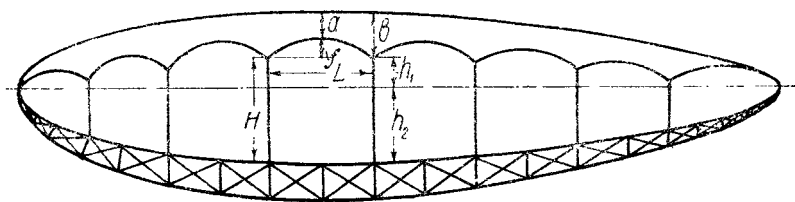
Следовательно, для того чтобы избежать выпучивания оболочки, нужно уменьшать размеры a и b , так как разность $(b - a)$, равную



Фиг. 143. Деформация внутреннего пояса.

стреле провеса l , мы произвольно уменьшать не можем. Для размера a практически существует некоторый предел, переход за который уже не обеспечивает равномерности передачи натяжения на трос, так как здесь начинает сказываться влияние жесткости заделки троса и пришива пояса к оболочке. Теоретически трудно установить этот предел, но можно считать, что он лежит между 0,5 и 1,0 м для миделевой части дирижаблей средней кубатуры.

Из формул видно, что на величину s влияют два фактора: разность $(b - a)$, т. е. стрела провеса катенарии, и относительное удлинение материи ϵ . Для внутренних катенарий, панель которых бывает иногда в три раза больше панели внешних катенарий, уменьшение стрелы провеса при значительной погонной нагрузке влечет за собой большие напряжения троса и такое увеличение его диаметра, при котором заделка троса в материю становится практически невозможной. Правда, с этим приходится встречаться в дирижаблях выше средней кубатуры, а в остальных случаях почти всегда удастся выдержать стрелу провеса равной 0,25—0,33 от длины панели.



Фиг. 144. Схема внутреннего пояса и подвески.

Для уменьшения влияния второго фактора, т. е. относительного удлинения ϵ , приходится подбирать соответствующий тип материи и располагать ее основой в направлении действия наибольших натяжений. Уменьшение в известных пределах ширины пояса и стрелы провеса уменьшает вес всей системы внутренней подвески, так как уменьшение веса материи перекрывает утяжеление тросов.

Положение узлов внешних катенарий определяется конфигурацией тангенциального полотнища. Некоторая разность горизонтальных составляющих натяжений тросов, могущая возникнуть вследствие этого в узле внешних катенарий, непосредственно передается на узлы килевой фермы и не дает никаких неприятных последствий. При проектировании катенарий внутренней подвески необходимо строго соблюдать равенство горизонтальных составляющих натяжений тросов в каждом узле. Если это условие не будет соблюдено, то узлы будут смещаться в продольном направлении, вызывая перенапряжения в материи поясов, смещение вертикальных тросов и общее нарушение плавности очертаний оболочки.

Существуют различные схемы выбора конфигурации внутреннего пояса. По одной из таких схем расстояние a (фиг. 144) выдерживается почти по всей длине оболочки, а высота узлов h_1 изменяется пропорционально коэффициентам подобия сечений. При этом стрела провеса катенарий по панелям уменьшается от миделя к носу и корме. Натяжение троса во всех панелях остается почти постоянным и для всего пояса

может быть применен трос одного и того же диаметра, без каких-либо сростков. Горизонтальные составляющие у всех узлов сравниваются друг с другом за счет уменьшающейся стрелы провеса. Носовая и кормовая панели пояса сводятся постепенно по произвольным кривым. Такая система образования внутренних поясов была применена на дирижабле ВУК-1. По другим схемам линейные размеры a , b и h , изменяются пропорционально коэффициентам подобия сечений. В этом случае относительная стрела провеса увеличивается, а натяжение и, следовательно, диаметр троса уменьшаются от миделя к корме и носу. Горизонтальные составляющие в узлах и при этой схеме практически почти уничтожаются. Носовая и кормовая панели также сводятся по произвольным кривым. Такая схема поясов применялась на итальянских полужестких дирижаблях.

Некоторые конструктора для уничтожения горизонтальных составляющих соединяют узлы катенарий продольным тросом, идущим от носа до кормы оболочки. По мнению автора применение этого троса не имеет смысла, так как из-за неопределенного сокращения длины оболочки невозможно заранее определить длины панелей, а также невозможно производить подтяжку этого троса в отдельных панелях.

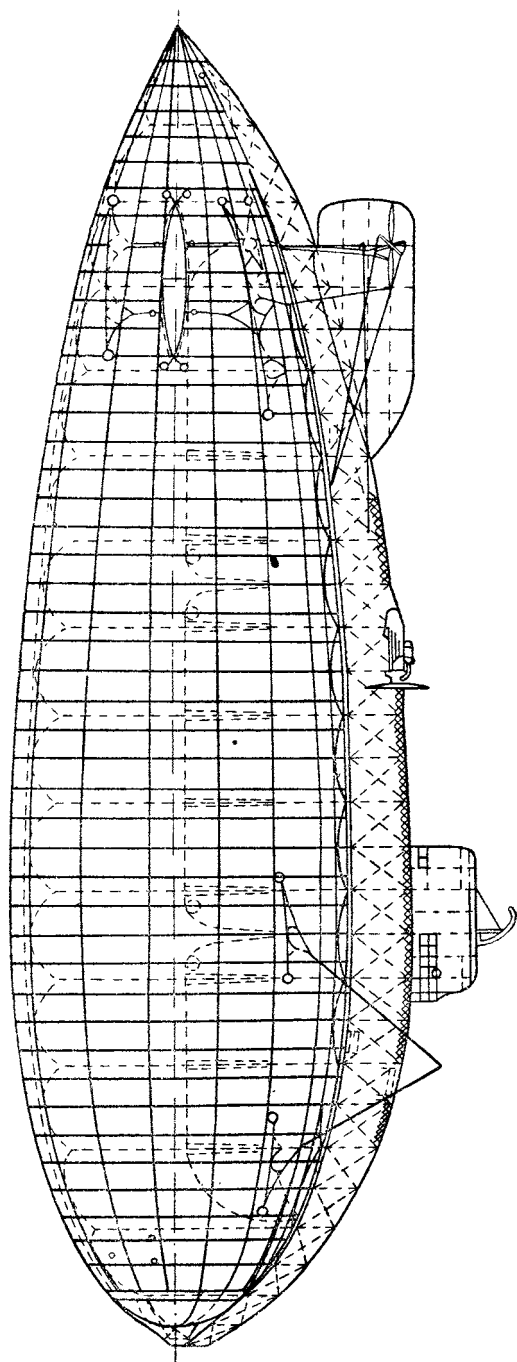
Выбор схемы внутренней подвески и числа панелей килевой фермы, захватываемых одной панелью этой подвески, не может быть определен какими-либо расчетами и зависит от выбора конструктора. Рассмотрим схемы внутренней подвески дирижаблей, имевших один пояс внутренней подвески.

Дирижабль RS-1 имел панели внутреннего пояса, совпадающие с панелями килевой фермы. Распределение по узлам килевой фермы натяжений внутренней подвески было достаточно равномерным, но для пропуска внутренней подвески сквозь баллонет пришлось иметь большое число конусов прохода (29 шт.).

Дирижабль N-2 имел внутренний пояс с панелями, захватывающими три панели килевой фермы. Тросы внутренней подвески проходят в тех же сечениях дирижабля, что и диафрагмы, скрепляясь с ними. Проход внутренней подвески через баллонеты осуществляется без всяких секторов, так как тросы этой подвески лежат в плоскостях торцов баллонета.

Недостатком такой схемы является то, что подъемная сила передается внутренней подвеской только «третьим» узлам килевой фермы. Это значительно повышает изгибающие моменты, действующие на киль, и вызывает утяжеление его конструкции.

Французский дирижабль «Зодиак» Е-9 (фиг. 145) имел панели внутренних катенарий, захватывающие две панели килевой фермы. Такая схема по своим достоинствам и недостаткам является промежуточной между схемами внутренней подвески дирижаблей N-2 и RS-1. Дирижабли N-1 и СССР-В6 с двумя поясами внутренней подвески имели катенарии с узлами, совпадающими с шпангоутами килевой фермы. Наклонные тросы от узлов катенарий посредством коушей заплетались на коуш верхнего конца вертикального троса. Нижний конец вертикального троса имел заплетенный коуш, сквозь который был свободно пропущен трос, расходящийся под углом в 90° к узлам килевой фермы.



Фиг. 145. Диржабль «Зодиак» E-9.

В дирижабле N-1 диафрагмы были расположены через две панели киля, поэтому из каждого двух тросов внутренней подвески только для одного требовалось делать сектор для прохода сквозь баллонет, остальные же два троса пропускались сквозь торец баллонета вблизи линии его пришива к диафрагме. В дирижабле СССР-В6 диафрагмы располагались через три панели килевой фермы, так что из каждого четырех тросов внутренней подвески два пропускались через торцы баллонетов, а для двух требовалось устраивать сектора.

Наличие большого числа секторов утяжеляет общую конструкцию баллонета и уменьшает ее надежность. Свободный пропуск нижнего троса сквозь коуш вертикального троса является значительным дефектом этой конструкции. Чтобы предохранить материю сектора от перетирания нижним тросом, его обматывают лентой из прорезиненной материи. При перемещении троса по коушу эта обмотка может задираться и зажимать трос в коуше в ненормальном положении. Гораздо правильнее было бы, так же как в верхнем узле, присоединять нижние тросы на коушах к коушу вертикального троса с образованием неподвижного соединения.

Дирижабль Т-34 «Ром» с тремя поясами внутренних катенарий имел внутреннюю подвеску, независимую для каждого пояса катенарий. Панели внутренних катенарий захватывали две панели килевой фермы, причем узлы катенарий всех трех поясов лежали в плоскостях, совпадающих с плоскостями шпангоутов килевой фермы. Вертикальные тросы центрального пояса катенарий проходили без раздваивания сквозь баллонет и прикреплялись к нижнему углу килевой фермы, проходя сквозь горизонтальные стержни шпангоутов. Тросы внутренней подвески боковых поясов катенарий шли под некоторым углом к вертикали непосредственно к боковым узлам килевой фермы. Пропуск трех отдельных тросов сквозь баллонет должен вызывать ряд затруднений.

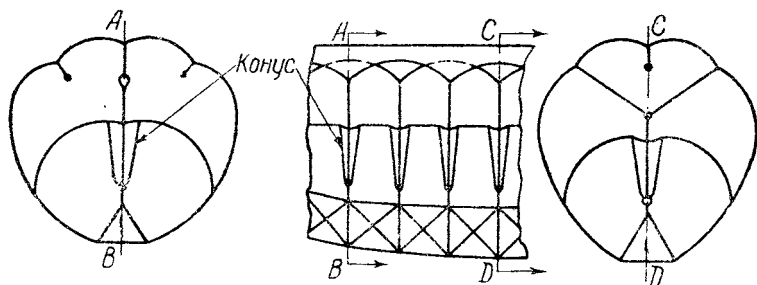
По-другому разрешен вопрос внутренней подвески для трех катенарных поясов в дирижаблях «Зодиак» Е-10 и ВУК-1 (СССР-В7). Поперечные сечения этих дирижаблей подобраны так, что натяжения вертикальных тросов центрального пояса равняются сумме вертикальных проекций натяжений тросов двух боковых катенарий. Чтобы упростить конструкцию поясов и равномерно загрузить килевую ферму, можно, захватывая панелями катенарий по две панели килевой фермы, соединить узлы боковых катенарий на один общий трос, имеющий то же натяжение, что и трос, идущий от центрального катенарного пояса.

Назначая узлы боковых катенарий так, чтобы они приходились между узлами центрального пояса, мы получаем возможность передать подъемную силу каждому шпангоуту килевой фермы. При этом мы в два раза уменьшаем число узлов катенарий по сравнению со схемой, в которой узлы катенарий совпадают с каждым шпангоутом килевой фермы. По сравнению же со схемой подвески Т-34 мы получаем при том же числе узлов катенарий более равномерную поддержку киля и в три раза меньшее число проходов тросов сквозь баллонет.

В дирижабле ВУК-1, имеющем килевую ферму, направленную вершиной кверху (фиг. 146), вертикальные тросы без всякого раздваи-

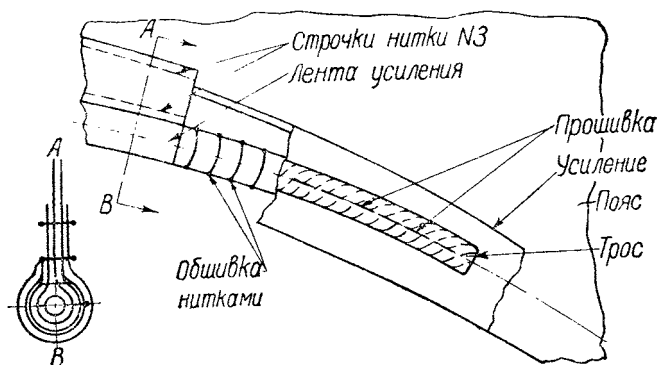
вания крепятся непосредственно к верхним узлам шпангоутов килевой фермы. Для проходов этих тросов сквозь баллонет достаточно иметь простые конуса, описанные в предыдущем параграфе.

Конструкция заделки троса катенарий в материю пояса (фиг. 147) должна обеспечить передачу на трос натяжения материи, предохра-



Фиг. 146. Схема внутренней подвески дирижабля ВУК-1.

нить материю от прорезания ее тросом и закрепить трос от перемещений вдоль заделки. При раскрое поясов от линии теоретической оси троса делают припуск достаточной ширины, чтобы его можно было обернуть вокруг троса и приклеить к материи пояса за тросом. На материю пояса на всю ширину припуска и его приклейки накладывается на клею лента из диагонально дублированной двухслойной материи. На



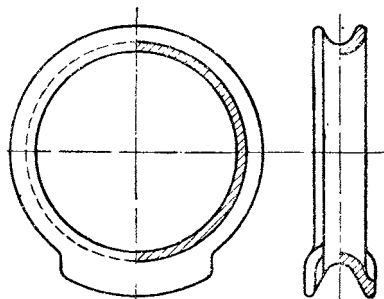
Фиг. 147. Зашивка троса катенарий.

это усиление накладывается трос и пришивается к материи пояса стежками толстой суровой нитки. Нитка должна пропускаться между стренгами троса и образовывать ровные плотные стежки длиной в 10—15 мм. После пришивки припуск огибается вокруг троса и приклеивается к материи пояса.

Чтобы подкрепить заделку и предохранить припуск от разворачивания, заделка прошивается вокруг троса такой же суровой ниткой со стежками, расположенными на 3—4 мм один от другого. После прошивки заделка укрепляется рядом усиления, заворачиваемых

вокруг троса и приклеиваемых к материи пояса. Число, материал и ширину этих усилий приходится выбирать чисто опытным путем. Усилия вместе с материалом пояса прошиваются обычно двумя строчками ниток № 3 на швейной машине. Одна из строчек располагается по возможности ближе к тросу, другая на расстоянии 5 мм от края усиления. Строчки для предохранения ниток заклеиваются лентами, причем эта наклейка особенно нужна в поясах внешних катенарий. Строчки пришива внутренних катенарий могут и не закрываться лентами, так как внутренние катенарии не подвержены непосредственным атмосферным воздействиям.

Заделку основных узлов внутренних катенарий надо производить так, чтобы обеспечить хорошую передачу натяжений тросов катенарий тросам внутренней подвески и гарантировать весь узел от разрушения при случайных нагрузках, направленных не по нормальному направлению троса внутренней подвески. В классической итальянской конструкции для присоединения вертикального троса применяется кольцо (фиг. 148) из хромоникелевой стали повышенной прочности с желобком специальной формы, опирающимся на трос катенарии. При этом трос катенарии огибает кольцо по сравнительно большому радиусу, без переломов и принимает натяжение подвески по достаточно большой дуге. Это кольцо с помощью ряда описываемых далее усилий заделывается в материю пояса, и за него непосредственно закрепляется коуш троса вертикальной подвески.



Фиг. 148. Кольцо катенарии.

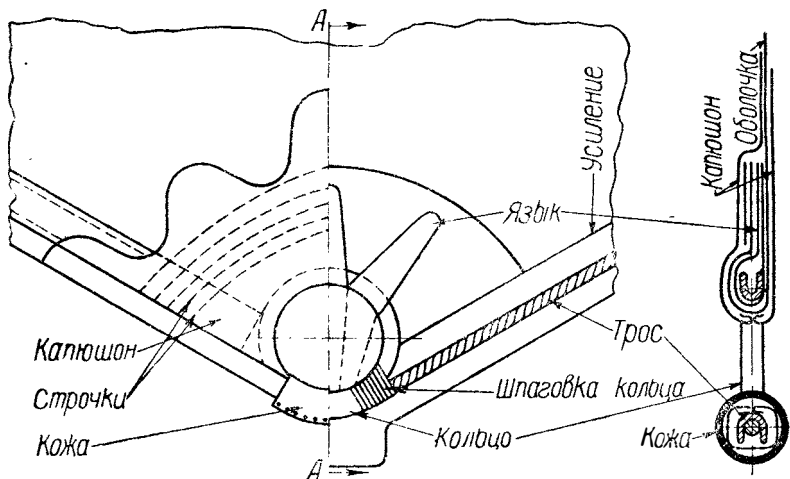
На место заделки кольца (фиг. 149) накладывается усиление из двухслойной материи. На усиление накладывается кольцо, вокруг которого огибается трос, плотно пришагивывающийся к кольцу тонким шпагатом. Материя внутри кольца разрезается на 3—4 языка. Они огибают кольцо и приклеиваются и пришиваются к поясу. Иногда, кроме языков, применяют дополнительные ленты, охватывающие кольцо. Эти ленты делаются из двухслойной достаточно прочной диагонально-дублированной материи. Поверх языков на промежуток, образуемый расходящимися тросами катенарий и кольцом, накладывается усиление из хлопчатобумажной материи типа автоканваса. Это усиление служит и для подкрепления узла, и для увеличения толщины узла выше кольца для облегчения его заделки. Кроме автоканваса, на узел накладываются секторные усиления различных радиусов из прорезиненной материи, чтобы можно было постепенно перейти от жесткого узла к материи пояса. Число и размеры этих усилий определяются конструктивными соображениями.

Окончательная заделка узла производится наклейкой на узел так называемого капюшона. Капюшон состоит из двух секторов двухслойной прорезиненной материи, ограниченных сверху фестонами. Размеры капюшона выбираются так, чтобы он перекрывал все усиления. Фе-

стоны вырезают для того, чтобы обеспечить более надежное приклеивание капюшона.

Оба сектора капюшона складываются лицевой стороной вместе и прошиваются по кругу, диаметр которого равен внутреннему диаметру кольца. Отверстие в капюшоне вырезается по диаметру на 10 мм меньше, чем внутренний диаметр кольца. Затем капюшон выворачивается, один из секторов продевается сквозь кольцо, после чего капюшон приклеивается к узлу. Прошивка внешних краев капюшона производится вручную. Нижняя часть кольца обшивается кожей для предохранения от перетирания.

Чтобы уменьшить деформацию пояса внутренних катенарий, из их узлов часто выпускают триленты из достаточно прочной одно- или двухслойной материи. Центральную ленту пускают вертикально, а



Фиг. 149. Заделка узла катенарий.

две другие под некоторыми ($20\text{--}30^\circ$) углами к центральной. Эти ленты доходят до пришива пояса к оболочке, будучи только приклеенными, но не пришитыми.

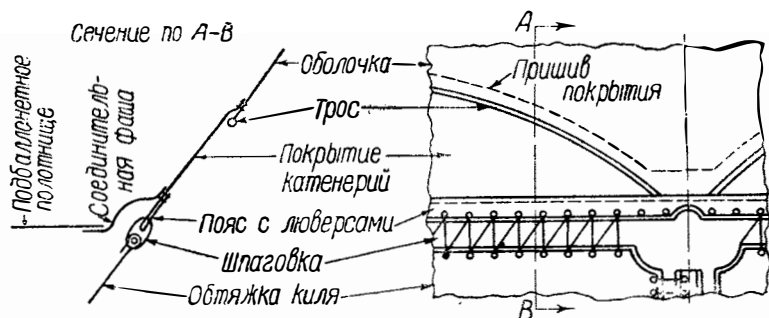
Для внешних катенарий дирижаблей, имеющих меридианальный раскрой и усиленных силовыми фаши, конец фаши, несколько расширяясь, заводится под усиление и капюшон узла.

Трос и узлы внешних катенарий заделываются непосредственно в материю тангенциального полотнища, которая выкраивается по линии кривой троса с некоторым припуском на его завертку. Вырезы тангенциального полотнища закрывают материей, чтобы получить так называемое покрытие катенарий (фиг. 150). Покрытие катенарий замыкает оболочку и к нему присоединяются подбаллонетное полотнище и обтяжка килевой фермы.

Покрытие катенарий раскраивается по очертаниям катенарий с некоторым припуском для пришива. Пришив покрытия к полотнищу производится несколько выше линии заделки троса (на $20\text{--}30\text{ мм}$) изнутри оболочки. Над узлами пришив делается по прямой, проходя-

щей выше последнего усиления. В нижний край покрытия, срезанный по прямой и усиленный забортованной веревкой, заделываются люверсы $\frac{5}{10}$ для прищиповки обтяжки килевой фермы. Поясок с люверсами наклеивается на углах на материю пояса катенарий. К внутренней стороне покрытия катенарий приклеивается соединительная фаша шириной 300—400 мм, к другому краю которой присоединяется подбаллонетное полотнище.

В тех местах оболочки, где расположен баллонет, покрытие катенарий делается из однослойной алюминированной материи. В тех же местах, где баллонета нет, покрытие катенарий для получения газонепроницаемости делается из двухслойной алюминированной материи, менее прочной и более легкой, чем основное полотнище катенарий. Таким образом производилась заделка катенарий итальянских полужестких дирижаблей, имевших большую стрелу провеса. Выпучивающееся под давлением воздуха или газа покрытие катенарий придает



Фиг. 150. Присоединение подбаллонетного полотнища.

оболочке некрасивый вид и увеличивает лобовое сопротивление. В советском дирижабле ВУК-1, имеющем незначительную высоту боковых катенарий, пришивка внутреннего покрытия катенарии производится по прямой, проходящей несколько выше вершин катенарий.

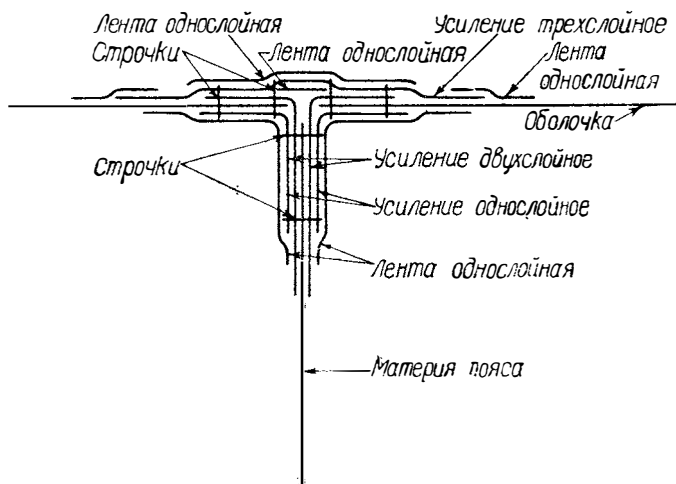
Наружное покрытие катенарий, сделанное из однослойной алюминированной материи, пришивается по этой же линии по всей длине оболочки. К нижней кромке наружного покрытия, идущей по линии узлов катенарий, пришивается обтяжка килевой фермы. Таким образом выпучивающееся покрытие катенарий (внутреннее) стягивается наружной обтяжкой, что придает дирижаблю более плавную, красивую форму.

Материал поясов внутренних катенарий подбирается по натяжениям, определяемым в этих поясах при построении формы поперечного сечения. Запас прочности, считая по натяжению при нормальном полетном сверхдавлении, принимают равным 6—8, так как при уменьшении сверхдавлений натяжения во внутренних поясах обычно возрастают. Кроме того, желательно иметь минимальные деформации этих поясов.

Так как пояса не подвергаются никаким атмосферным воздействиям, защищены от случайных механических повреждений и от них

не требуется газо-или воздухонепроницаемости, то их можно изготовлять из непрорезиненной материи. Для поясов кораблей небольшой и средней кубатур обычно применяют необработанный перкаль того или иного типа. Для дирижаблей больших кубатур в некоторых случаях из существующего сортамента нельзя подобрать перкаль необходимой прочности. Тогда приходится применять двухслойные прорезиненные параллельно дублированные материи. Материи следует применять специальные, с минимальным весом прорезинки (60—80 г/м²), чтобы не получить излишнего утяжеления конструкции.

Следует также остановиться на пришиве поясов внутренних катенарий к оболочке. В матерчатых конструкциях наибольшие трудности представляет соединение двух силовых элементов под углом, близким к прямому. Трудность конструирования таких соединений заклю-



Фиг. 151. Пришив внутреннего пояса.

чается в том, что они не поддаются расчету и экспериментальной проверке.

Действительно, если бы мы даже построили установку, позволяющую имитировать величину и направление нагрузки для образца пришива, то разрушение всегда происходило бы по материалу пояса, имеющему наименьший запас прочности. Поэтому конструктору приходится идти на перетяжеление этого соединения, чтобы иметь гарантию в том, что при всех условиях работы оболочки прочность соединения не будет нарушена. Конструирование следует вести так, чтобы обеспечить:

- 1) оболочку от разрыва по линии пришива пояса,
- 2) пояс от отдиранья от оболочки и
- 3) плавный переход от жесткого узла к материалу оболочки и пояса.

Один из типовых способов пришива внутреннего пояса изображен на фиг. 151. На пояс наклеиваются два усиления из двухслойной ма-

терии с предохраняющей их от раскрытия прошивкой. Кроме прошивки, для предохранения от раскрытия служит узкая однослойная лента, наклеенная на указанные усиления в месте отгиба их краев. Отогнутые края усиления наклеиваются на оболочку снаружи. Сверху все соединение заклеивается усилением из трехслойной материи, по прочности равной прочности оболочки. Изнутри на оболочку и пояс наклеиваются однослойные усиления, и все соединения прошиваются толстыми нитками. Для получения газонепроницаемости на швах все строчки заклеиваются лентами снаружи и изнутри. По кромкам усиления на оболочке наклеиваются ленты, предохраняющие усиление от отдиранья и попадания влаги на кромки.

Описанная схема пришива не является стандартной и приведена лишь для иллюстрации основных принципов конструирования таких узлов. Для проектирования следует изучить существовавшие конструкции и типы применявшихся материй.

§ 7. ОБТЯЖКА КОРМОВОГО РАЗВИТИЯ, КИЛЯ И КРЕПЛЕНИЕ ОПЕРЕНИЯ

Одним из преимуществ полужесткого дирижабля по сравнению с мягким является возможность соединить оперение с килевой фермой и тем самым придать его установке большую жесткость. В классических итальянских дирижаблях с килем жестко связывались нижний вертикальный и горизонтальные стабилизаторы. Таким образом было установлено оперение на дирижаблях «Италия», М., N-2 и на советских дирижаблях СССР-B5 и СССР-B6. Кормовое развитие дирижабля N-2 (фиг. 152) представляло пространственную ферму из стержней и расчалок, доходящую по высоте до оси корабля. Помещение этой фермы в газовое пространство оболочки чрезвычайно усложнило бы монтаж и сделало бы почти невозможным ремонт и осмотр. Поэтому в оболочке в месте расположения кормового развития приходится делать специальные конструкции, позволяющие изолировать все кормовое развитие от газа с минимальным нарушением плавности формы оболочки.

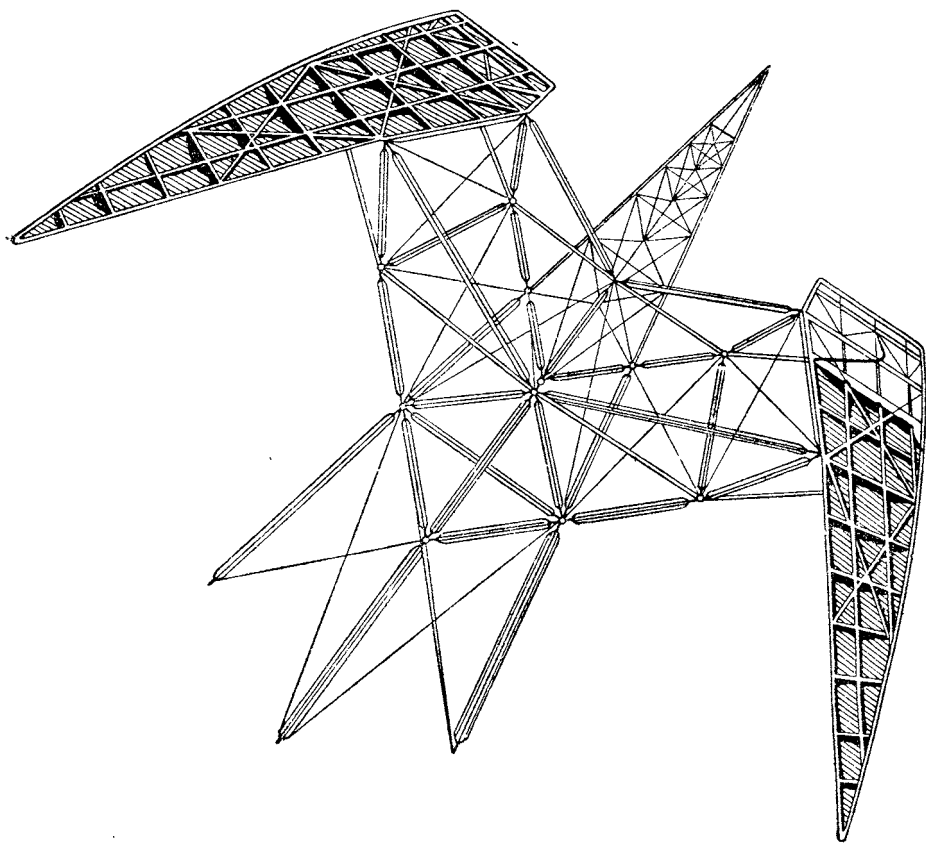
Покрытие кормового развития (фиг. 153) состоит из мешка А из газонепроницаемой материи, заменяющего нижнюю часть оболочки, и четырех торцовых стенок В, охватывающих попарно фермы кормового развития. Торцовые стенки, пришитые по краям к оболочке, подбаллонетному полотнищу и мешку, полностью замыкают оболочку. Во избежание стягивания оболочки торцы и мешки должны изготавливаться со значительными припусками по сравнению с размерами самого кормового развития, так как, не будучи прикрепленным к киль-ферме, мешок будет стремиться принять форму, значительно отличающуюся от формы соседних поперечных сечений.

Материя для мешка и торцов должна иметь газопроницаемость не большую, чем сама оболочка. Материя берется неокрашенная и диагонально дублированная во избежание раздиранья от случайных надрывов, но с меньшей прочностью, чем материя оболочки.

Торцы могут прикрепляться к килевой ферме и самому кормовому развитию различными способами. Можно вдеть в оболочку у пришива к ней торцовых стенок ряд катенарий а и в (фиг. 154), имею-

щих кольца в узлах кия и фермы развития, и крепить катенарии к этим узлам. Такая конструкция практически оказалась неудачной, так как при проектировании трудно дать катенариям необходимые размеры с учетом деформаций оболочки и мешка и растяжения материи.

Более удобна конструкция, примененная на дирижабле СССР-В6 (фиг. 155). Здесь мешок покрытия представляет собой лишь газоместиле, не связанное с металлическими конструкциями. Несколько

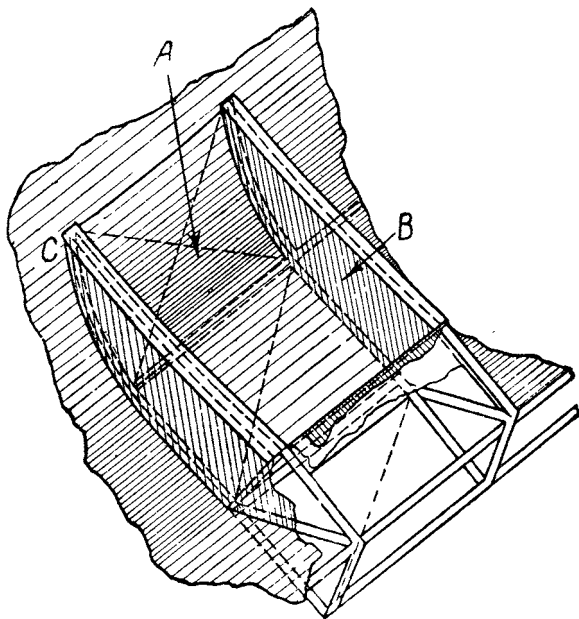


Фиг. 152. Кормовое развитие дирижабля N-2.

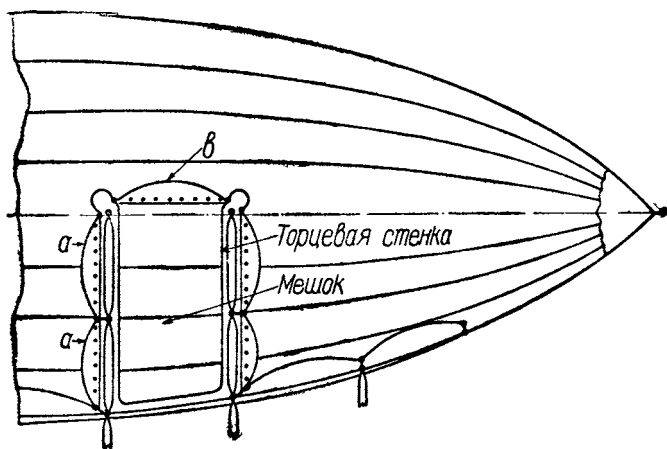
выше линии крепления горизонтальных стабилизаторов и пришива мешка к оболочке пришивается специальное полотнище-покрышка, спускающееся до кия. По нижнему краю этого полотнища вделана катенария, кольца которой прикрепляются к узлам килевой фермы. Для соединения покрышки и оболочки в их края заделываются усиленные пояса с люверсами 10/16, посредством которых покрышка и оболочка сошпагуются вместе. При такой конструкции натяжение оболочки, лежащей выше линии пришива покрышки, передается через нее непосредственно на киль, не нагружая кормового развития. Благодаря

растянутой во все стороны покрывке искажения общей формы оболочки получаются сравнительно незначительными. Общим недостатком кормового развития такого типа является наличие незакрепленного мешка, допускающего при сильном ангаже значительные переливания газа и падение давления за кормовым развитием, вызывающее иногда даже «пелоскание» материи на корме оболочки.

Дирижабль ВУК-1 имеет кормовое развитие (фиг. 156), связывающее с килем все четыре стабилизатора. Это кормовое развитие состоит из четырех стержней, образующих неправильный четырехугольник, расчлненный рядом тросов к килю. При такой конструкции мешок покрытия не делается и элементы развития изолируются от газа каждый в отдельности. Для прохода стержней в оболочку вшиваются



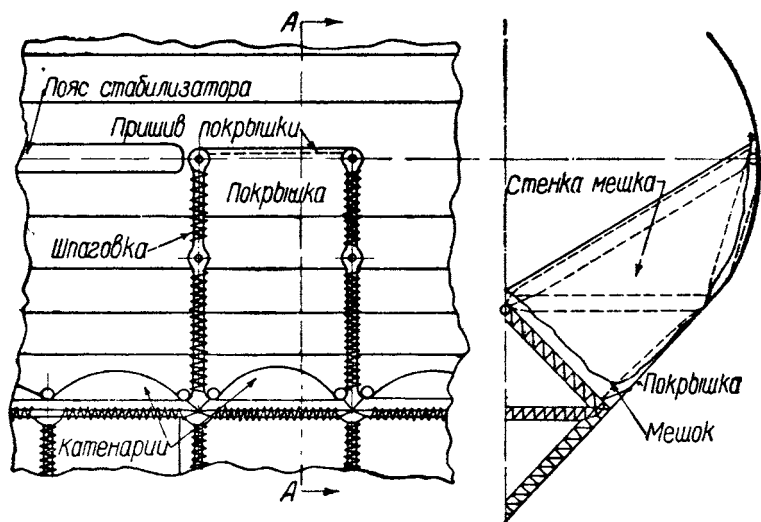
Фиг. 153. Схема покрытия кормового развития дирижабля ДП-4.



Фиг. 154. Заделка покрытия кормового развития дирижабля СССР-В5.

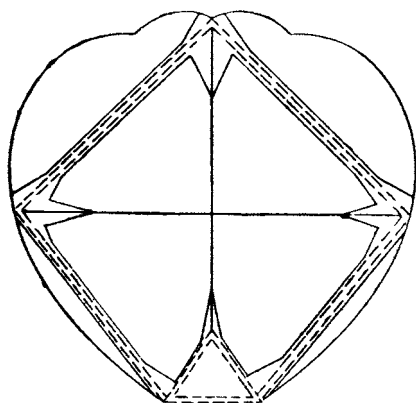
ся рукава достаточного диаметра и длиной, превышающей теоретическую длину стержней примерно на 20%. Места присоединения этих ру-

кавов к оболочке значительно усиливаются и для стягивания отверстия после монтажа развития снабжаются люверсами. Тросы расчалки поме-



Фиг. 155. Обтяжка кормового развития дирижабля В6.

щаются непосредственно в газовое пространство, а их вывод делается с помощью таких же переходных деталей, как и вывод тросов внутренней подвески. Переходные детали закрепляются на матерчатых конусах достаточной длины, чтобы позволить производить подтягивание тросов без натяжения рукавов. Все конуса и рукава должны делаться из газонепроницаемой диагонально-дублированной материи.



Фиг. 156. Обтяжка кормового развития дирижабля ВУК-1.

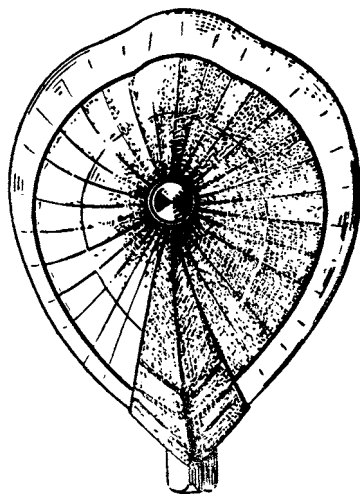
При пространственном кормовом развитии типа СССР-В6 удастся жестко закрепить лишь кормовую часть горизонтальных стабилизаторов, а их носовую часть и верхний стабилизатор приходится устанавливать непосредственно на оболочке. У дирижабля ВУК-1 только главные лонжероны стабилизаторов жестко связаны с развитием.

Ряд полужестких дирижаблей, например RS-1, «Зодиак» V-9 и др., вообще не имели кормового развития. Установка и крепление стабилизаторов в таких случаях производятся непосредственно на оболочку. Крепление стабилизаторов к оболочке производится с помощью ма-

терчатых карманов с люверсами, как это было описано в разделе V для мягких дирижаблей. Крепление расчалок стабилизаторов к оболочке может производиться с помощью лап любого типа. Однако, учитывая большие нагрузки, действующие на расчалки, и продолжительный срок эксплуатации полужесткого дирижабля, наиболее подходящим типом следует признать трубчатую лапу, описанную в разделе V.

На итальянских полужестких дирижаблях применялись лапы катенарного типа, иногда в виде непрерывного катенарного пояса. Такой же катенарный пояс применялся для расчалки стабилизаторов французского дирижабля «Зодиак» V-9. Для расчалки оперения дирижабля RS-1 применялись четырехпалые лапы с расплетенной веревкой.

Крепление носового купола полужестких дирижаблей производится с помощью двойных поясков с люверсами, как и в мягких дирижаблях. Так как в полужестких дирижаблях продольные фермы или трубы обычно бывают шарнирно прикреплены к общему кольцу, связанному с килевой фермой, и форма поперечного сечения полужесткого дирижабля значительно отличается от круговой, то разметка носового усиления требует значительной точности и вызывает ряд затруднений. Значительную помощь в этом случае могут принести сечения носовой части оболочки, снятые с достаточной точностью с гидростатической модели. Разметку же поперечных колец мы рекомендуем производить только на наполненной газом оболочке.



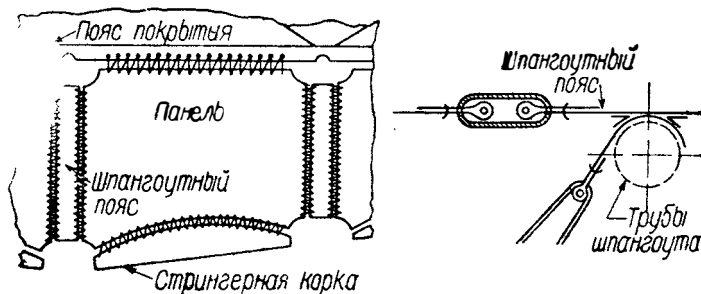
Фиг. 157. Носовая часть дирижабля «Италия».

В отличие от мягких дирижаблей, носовое усиление полужестких дирижаблей приходится закрывать дополнительной обтяжкой, так как носовая часть усиления обычно представляет собой ферменную конструкцию. Обтяжка носового купола состоит из отдельных полотнищ, изготовленных из необработанного перкаля соответствующей прочности и соединяющихся между собой с помощью шпаговки сквозь люверсы, вделанные в кромки полотнищ. С помощью шпаговки полотнищам дают предварительную натяжку, а для окончательной натяжки и окраски ткань покрывают два-три раза авиационным лаком соответствующего цвета. Обтяжку купола (фиг. 157) обычно доводят до его второго поперечного кольца и здесь ее прикрепляют к кольцу. При этом резко оборванная обтяжка имеет довольно некрасивый вид.

На дирижабле ВУК-1 обтяжка проходит за второе кольцо и заканчивается в интервале между вторым и третьим кольцами параболическими вырезами, приклеенными непосредственно к оболочке. Это

улучшает не только внешний вид обтяжки, но и обтекание носовой части дирижабля, утяжеляя его примерно лишь на 2 кг.

Обтяжка килевой фермы необходима для закрытия ферм киля и придания всему дирижаблю законченной обтекаемой формы. Так как внутреннее пространство килевой фермы не имеет (или почти не имеет) избыточного давления по сравнению с окружающим воздухом, то для получения гладкой поверхности обтяжки ей необходимо дать предварительную, равномерную по всей поверхности натяжку. При больших панелях киля современных дирижаблей (5 × 5 м) получить одной шпаговкой равномерную и достаточно сильную натяжку невозможно. Поэтому обтяжку киля делают из перкалей с последующей обработкой их авиационными лаками. При этом мы получаем туго натянутую гладкую поверхность, уменьшающую сопротивление дирижабля в полете.



Фиг. 158. Обтяжка киля.

Обтяжка киля полужесткого дирижабля с вершиной, направленной вниз, состоит (фиг. 158) из четырехугольных панелей, соответствующих боковым панелям киля, шпангоутных поясов и обтяжки нижних стрингеров.

При раскраивании высота и ширина панели обтяжки берутся несколько меньшими (на 10—15%), чем у теоретической панели киля.

Углы панелей срезаются по дугам круга для того, чтобы при закрытой обтяжке можно было осматривать узлы килевой фермы. Нижняя кромка обтяжки обрезана не по прямой, как остальные три стороны, а по некоторой произвольной параболе со стрелой, равной $\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{10}$ от стороны панели. Эта парабола делается для того, чтобы легче можно было производить предварительную натяжку панели.

При сборке дирижабля панель обтяжки сначала пришпаговывается к поясу покрытия катенарий, затем растягивается на четыре угла к узлам килевой фермы и с некоторой натяжкой пришпаговывается к шпангоутным поясам. Окончательная натяжка придается пришпаговкой нижней параболической кромки панели к стрингерной корке. Все края панели усиливаются с обеих сторон лентой из двухслойной материи с забортованным шпагатом диаметром 3 мм. Вдоль шпагата вставляются люверсы размером 5/11 с шагом 50—70 мм. Особенно тщательно должны усиливаться углы панели. В них вделяются люверсы размером 10/16, так как при предварительной растяжке панели в углах возникают значительные местные натяжения.

Свободный зазор между кромками панели, шпангоутными поясами и стрингерными корками после окончательной подтяжки панели должен составлять 50—80 мм. Конструкция стрингерных корочек ничем не отличается от конструкции панели. Их очертания строятся по параболическому срезу панели с необходимым зазором. Шпангоутные пояса служат для соединения панелей в одной плоскости, не давая выступать балкам шпангоута.

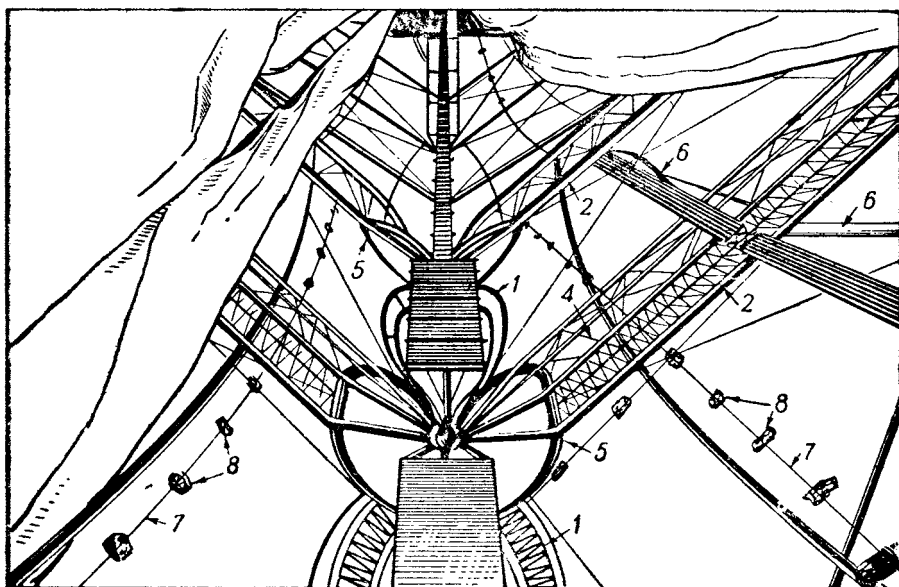
После натяжки шпаговка заклеивается на эмалите лентами из перкаля, и все покрытие лакируется авиалаком. Чтобы не получить утяжеления, но вместе с тем иметь достаточно туго натянутую поверхность, достаточно сделать два покрытия бесцветным лаком и одно цветным, обычно алюминиевым. Число покрытий может меняться в ту или другую сторону в зависимости от типа применяемого лака. Прорезать в покрытии кия всевозможные отверстия рекомендуется после того, как покрытие натянуто, но до лакировки. Во избежание надрывов при стягивании материи после лакировки, края всех отверстий надо усиливать забортованной веревкой, а для больших отверстий лучше жесткой рамкой из металлических элементов.

На панели покрытия в полете могут действовать значительные аэродинамические нагрузки (особенно за винтами моторов), поэтому их следует прикреплять к диагональным расчалкам килевой фермы. При панелях больших размеров покрытие следует подкреплять металлическими элементами, так называемыми панельными балочками, которые устанавливаются изнутри обтяжки и закрепляются на стержнях шпангоутов. Обтяжка прикрепляется к панельным балочкам посредством шпаговки. Расположение панельных балочек и некоторые другие детали конструкции покрытия килевой фермы видны на фиг. 159, изображающей внутреннюю часть кия дирижабля «Норвегия». На фигуре видны: по бокам мостика — шпаговка 1 стрингерных корочек по параболам, пришпаговка 2 панелей обтяжки к боковому стержню шпангоута 4. Так же ясно видны вырезы панелей 5 около нижнего узла шпангоута. Эти вырезы заклеены материей. В правой части фигуры видны панельные балочки 6, идущие вдоль кия и подкрепляющие обтяжку. Для подкрепления обтяжки также служат продольные тросы 7, к которым обтяжка прикрепляется через определенные интервалы наклеенными шайбами 8.

Для дирижабля с килем, расположенным углом кверху, как, например, для дирижабля ВУК-1, покрытие килевой фермы можно делать значительно проще. Так как посередине нижней шпангоутной балки идет выступающий переходный мостик, то панель покрытия может быть разделена на две части, соединяющиеся на мостике. Чтобы избежать лишней шпаговки, панели покрытия пришиваются к поясу покрытия катенарий. Нижний стержень шпангоута находится внутри обтяжки, поэтому соединение панелей по длине корабля производится непосредственно, без применения шпангоутных поясов. Стрингерные корочки опираются на нижний стержень мостика и пришпаговываются к краям панелей, но по мнению автора можно было бы сошпаговывать панели непосредственно между собой, не вводя в конструкцию стрингерных корок.

Швартовый и маневренный такелаж полужестких дирижаблей

состоит из гайдропов, помещающихся и укрепленных в киле, поясных, укрепленных за узлы киля, и поясных, укрепленных на оболочке. Бивачный такелаж, как правило, на полужестких дирижаблях не ставится, так как по своей системе эти дирижабли не приспособлены для бивачной стоянки. Основная часть поясных, сделанных из стальных тросов, укрепена на узлах килевой фермы. Эти короткие поясные не достигают земли при горизонтальной стоянке дирижабля и заканчиваются заплетенным коушем. Для маневрирования с дирижаблем к этому коушу с помощью карабина присоединяются поясные, сделанные из льняной или пеньковой веревки достаточной толщины. Перед стартом дирижабля эти поясные отстегиваются. Описанное расположение по-



Фиг. 159. Внутренний вид киля дирижабля N-1.

ясных, при котором стартовая команда тянет поясные почти горизонтально, значительно облегчает разворачивание дирижабля при боковом ветре.

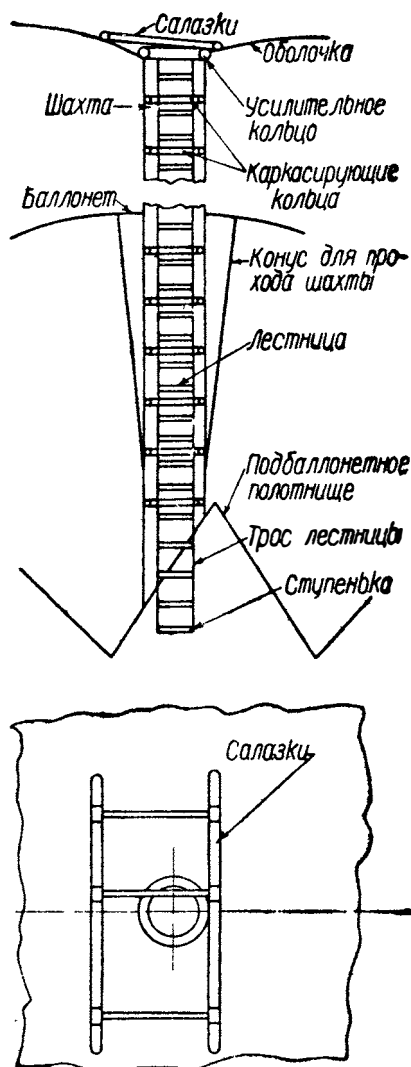
Для удержания дирижабля от боковых кренов служат поясные, укрепленные на оболочке. Они обычно располагаются в трех зонах дирижабля (носовой, средней и кормовой) на такой высоте, чтобы поясная, направленная под углом в 45° к горизонту, являлась касательной к оболочке в месте крепления. Эти поясные также делают из стального троса диаметром 6—8 мм и заканчиваются петлей, за которую зацепляются карабины веревочных поясных. Во избежание протирания оболочки трос обклеивается прорезиненной лентой, а ниже места крепления на оболочку наклеивается сектор усиления из той же материи, что и сама оболочка.

Крепление поясной к оболочке может производиться с помощью любого типа описанных выше лап. На итальянских дирижаблях N-1,

№-2, №-3 применялись параболические лапы со спусками, допускающими отклонение поясных вперед и назад. Подобные же лапы применялись для крепления поясных дирижаблей «Зодиак» V-9. На дирижабле RS-1 для крепления каждой поясной применялись четыре стандартные четырехпалые лапы с расплетенной веревкой. Эти лапы соединялись с поясной посредством системы спусков. На советском дирижабле СССР-В6 для крепления каждой поясной применяются две стандартные четырехпалые лапы, соединенные тросовым спуском. На дирижабле ВУК-1 крепление поясной производится непосредственно к четырехпалой лапе.

В некоторых мягких и полужестких дирижаблях для выхода в полете на спину оболочки делается так называемая шахта (фиг. 160). На мягких дирижаблях шахта предназначалась для выхода на спинную пулеметную площадку, устроенную на оболочке. В полужестких дирижаблях гражданского назначения возможность выхода на спину является обязательной по следующим причинам: а) большое число клапанов, расположенных обычно на спине оболочки, требует регулярных осмотров во время полетов; б) при длительных полетах часто приходится прибегать к астрономической ориентировке, выполнение которой из гондолы затрудняется оболочкой, закрывающей верхнюю часть небосвода; в) для дирижаблей, имеющих верхний руль, улучшающий управляемость судна, проводку тросов управления к этому рулю можно значительно упростить, если эти тросы провести через шахту в киль, минуя горизонтальные стабилизаторы.

Шахта представляет собой матерчатый цилиндрический рукав, проходящий сквозь газовое пространство и имеющий прикрепленную к салазкам лестницу для влезания наверх. Для предохранения от сжатия газовым сверхдавлением шахта каркасируется металлическими трубчатыми обручами, расположенными на небольших интерва-



Фиг. 160. Схема шахты.

дах друг от друга. Верхнее отверстие шахты должно быть надежно усилено, чтобы натяжение оболочки при больших давлениях не вызвало разрывов в этом месте. Лестница прикрепляется к салазкам, а не к верхнему усилению шахты для того, чтобы распределить нагрузку от лестницы по достаточно большой площади оболочки.

Если не предъявляются какие-либо специальные требования, то шахту для удобства проведения штуртросов располагают в кормовой части оболочки. Шахту желательно располагать ближе к плоскости симметрии судна, где высота поперечного сечения оболочки мало меняется при изменении сверхдавления. В оболочках, имеющих центральный пояс подвески, шахту располагают так, чтобы она одним боком непосредственно примыкала к поясу.

Диаметр шахты должен быть минимальным, дающим лишь возможность пролезать человеку. Для этого вполне достаточен диаметр в 800 мм. Шахта делается из трехслойной материи с диагональным слоем для предохранения от раздираания при случайных механических повреждениях. Швы шахты делаются такими же, как швы газовой оболочки. Для закрепления каркасирующих колец изнутри шахты наклеиваются двойные пояски с люверсами. Для шахты диаметром 800 мм каркасирующие кольца следует располагать по высоте шахты через каждые 500 мм. Длину шахты следует делать с припуском 10—15% к теоретически необходимой длине, чтобы гарантировать оболочку от стягивания шахтой.

Верхний пришив шахты производится с рядом усиления и обязательно должен иметь прочный пояс для зашпаговки в нем усилительного кольца из дуралюминовой трубы размером ~ 22/25 мм. Это кольцо замыкает отверстие в оболочке, поэтому оно должно ставиться до газонаполнения оболочки.

Для прохода шахты сквозь баллонет делается матерчатый конус, прикрепленный одним основанием к шахте, а другим к краям отверстия, прорезанного в потолке баллонета для пропуска шахты. Нижний срез шахты приклеивается к подбаллонетному полотнищу.

Стальные трехмиллиметровые тросы, образующие тетивы лестницы, крепятся к салазкам, сделанным из дуралюминовых труб. К этим же салазкам крепятся кронштейны роликов штур и клапанной проводки и пр. Ступеньки лестницы делаются из дуралюминовых труб. Сверху отверстие шахты закрывается обтекателем, препятствующим попаданию дождя в отверстие шахты. Обтекатель должен иметь откидную крышку и открытый задний срез для обеспечения вентиляции через шахту.

§ 8. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБОЛОЧЕК

Проектирование оболочки полужесткого дирижабля начинают с выбора схемы поперечного сечения. Установив в связи с общей конструкцией дирижабля несколько желательных вариантов схемы поперечного сечения, строят теоретические формы поперечных сечений при нормальном полетном сверхдавлении. Выбранный окончательно вариант сечения исследуют на различных режимах давлений и наполнений. Подобрав по полученным натяжениям тип материи, устанавли-

вают метод и геометрию раскроя и по определенным натяжениям поясов производят расчет и определение формы всех катенарных поясов. После этого приступают к проектированию, изготовлению и испытанию простой (без баллонета и диафрагм) гидростатической модели. Цель этих испытаний установить:

- 1) деформации материи в различных частях оболочки;
- 2) окончательную регулировку длин внутренней подвески;
- 3) формы поперечных сечений оболочки при различных режимах;
- 4) деформации и окончательные размеры пояса внешних катенарий, необходимые для определения размеров килевой фермы;
- 5) окончательные объемы оболочки после старения на различных режимах;
- 6) положение центра объема и его перемещения при изменениях режимов при горизонтальной оси оболочки.

До получения результатов испытаний гидростатической модели могут продолжаться конструкторские работы по самой оболочке с ее деталями.

До испытаний гидростатической модели необходимо также установить число и положение диафрагм, их систему и выбрать схему расположения баллонета. Определение размеров сечений баллонета может производиться на сечении, построенном согласно § 2. На основании построенного сечения баллонета можно привести раскрой его потолка и крайних торцов, если по выбранной схеме они не заканчиваются на диафрагмах. Точно так же могут быть выполнены вся конструктивная разработка и рабочие чертежи катенарных поясов с их покрытиями, подбаллонетного полотнища и ряд других мелких работ.

По получении результатов испытания гидростатической модели можно изготовить окончательные чертежи внутренней подвески. По паспортам сечений модели строятся чертежи диафрагм и торцов баллонетов, прилегающих к диафрагмам. По этим же паспортам определяют размеры кормового развития и изготовляют рабочие чертежи его покрытия. При точном проведении испытаний модели можно на основании полученных результатов произвести разметку поясов носового усиления (за исключением колец), а также разметку установки и расчалки оперения.

После определения формы диафрагм и расположения и размеров баллонета желательно изготовить полную гидростатическую модель и произвести ее испытание на статическую устойчивость.

Так как методика этих испытаний еще мало разработана, то к их результатам следует относиться с большой осторожностью, рассматривая их скорее как сравнительные, чем как абсолютные.

Каких-либо расчетов оболочки как корпуса производить не следует, так как методы таких расчетов, дающие практически достоверные результаты, пока еще не разработаны. Материю для оболочки, как это было указано выше, следует подбирать по поперечным натяжениям с достаточным запасом прочности. Жесткость килевых ферм современных дирижаблей гарантирует, что часть изгибающих моментов и перерезывающих сил будет воспринята килем. Расчет же оболочки на изгиб в отсутствии кия дает, как это и можно было ожидать, чрезмерное повышение необходимого сверхдавления.

Чертежи проекта оболочки нормального полужесткого дирижабля состоят из следующих комплектов:

1) схема оболочки с подбаллонетным полотнищем и деталями (апендиксы, разрывные, клапанные установки и т. д.);

2) внешние катенарии с покрытием;

3) пояса внутренних катенарий с пришивом;

4) внутренняя подвеска;

5) диафрагмы;

6) баллонеты с конусами прохода подвески и торцами;

7) покрытие кормового развития;

8) покрытие килевой фермы;

9) воздухопровод;

10) газовые клапаны;

11) воздушные впускные клапаны;

12) воздушные выпускные клапаны;

13) установка и расчалка оперения;

14) установка носового купола и его обтяжка;

15) амортизаторы гондол;

16) вспомогательные детали;

17) простая гидромодель с установкой;

18) полная гидромодель с установкой;

19) графический материал по обработке испытаний гидромodelей;

20) материалы по определению схемы и размеров баллонета.

Для предварительного определения весов отдельных частей оболочки можно пользоваться следующими формулами, выведенными на основании статистических данных.

Бес самой оболочки с подбаллонетным полотнищем, но без всех прочих деталей:

$$P_1 = 6,891 p U^{\frac{2}{3}} \text{ до } P_1 = 6,800 p U^{\frac{2}{3}}, \quad (208)$$

где p — вес 1 м² материи в кг.

Силовые фаши при меридианальном раскрое весят:

$$P_2 = 0,0293 U^{\frac{2}{3}}, \quad (209)$$

при этом вес материи принят равным 0,27 кг/м².

Вес баллонета с конусами:

$$P_3 = 2,798 p U^{\frac{2}{3}} \quad (210)$$

или

$$P_3 = 1,399 U^{\frac{2}{3}} \text{ до } P_3 = 1,183 U^{\frac{2}{3}}. \quad (211)$$

Вес материи баллонета при этом принят равным 0,24 кг/м².

Вес диафрагм:

а) плоской части:

$$P_4 = 0,588 U^{\frac{2}{3}} n p, \quad (212)$$

где p — вес материи и n — число диафрагм;

б) фаши:

$$P_5 = 0,0688 U^{\frac{2}{3}} p; \quad (213)$$

обозначения те же.

Вес боковых катенарий (трос, узлы и заделки):

$$P_6 = 0,000247 U^{\frac{4}{3}}. \quad (214)$$

Вес покрытия боковых катенарий:

$$P_7 = 0,000247 U^{\frac{4}{3}}. \quad (215)$$

Вес внутренних катенарий (пояса, трос, узлы заделки):

$$P_8 = 0,00148 U^{\frac{4}{3}} p,$$

где n — число поясов и p — вес материи $кг/м^2$, или

$$P_8 = 0,00409 n U^{\frac{4}{3}}. \quad (216)$$

Вес пришива поясов к оболочке:

$$P_9 = 0,000733 n U^{\frac{4}{3}} \text{ до } P_9 = 0,004 n U^{\frac{4}{3}}.$$

Вес внутренней подвески:

$$P_{10} = 0,000235 U^{\frac{4}{3}} \text{ до } 0,000266 U^{\frac{4}{3}}. \quad (217)$$

Вес обтяжки киля.

Угол киля обращен вниз:

$$P_{11} = 0,182 U^{\frac{2}{3}}. \quad (218)$$

Угол киля обращен вверх:

$$P_{12} = 0,095 U^{\frac{2}{3}}. \quad (219)$$

Установка оперения.

Вес карманов стабилизаторов:

$$P_{13} = 0,0283 U^{\frac{2}{3}} \text{ до } P_{13} = 0,0163 U^{\frac{2}{3}}. \quad (220)$$

Вес расчалки и креплений:

$$P_{14} = 0,074 U^{\frac{2}{3}}. \quad (221)$$

Вес обтяжки кормового развития классического типа:

$$P_{15} = 0,286 U^{\frac{2}{3}} p, \quad (222)$$

где p — вес материи в $кг/м^2$.

То же балочного типа (ВУК-1):

$$P_{16} = 0,06 U^{\frac{2}{3}} p. \quad (223)$$

Вес воздухопровода:

$$P_{17} = 2,888 U^{\frac{1}{3}}. \quad (224)$$

Вес деталей оболочки (лапы, апендиксы и т. д.):

$$P_{18} = 0,202 U^{\frac{2}{3}}. \quad (225)$$

Вес всех прочих деталей.

$$P_{19} = 0,162 U^{\frac{2}{3}} \text{ до } P_{19} = 0,19 U^{\frac{2}{3}}. \quad (226)$$

Все величины, входящие в приведенные выше формулы, должны браться в м и кг.

Эти формулы имеет смысл применять при составлении весового баланса второго приближения. Для предварительной прикидки веса оболочки в начале проектирования дирижабля можно применять более упрощенную формулу, полученную из приведенных выше формул при некоторых определенных весах материи. Эта формула может применяться для определения веса оболочек нормального типа и средних кубатур:

$$P = 0,00115 U^{\frac{4}{3}} + 6,176 U^{\frac{2}{3}} + 0,103 U^{\frac{1}{3}}. \quad (227)$$

Здесь P — полный вес оболочки со всеми деталями в кг.
Объем U должен быть взят в м³.

§ 9. ПОЛУМЯГКИЕ ДИРИЖАБЛИ И ДИРИЖАБЛИ ТИПА ФОРЛАНИНИ

Чтобы закончить рассмотрение полужестких дирижаблей, следует остановиться еще на двух оригинальных схемах. Такими схемами являются схемы так называемых полумягких дирижаблей, выработанные американской фирмой Гудиир, и дирижабли с двойной оболочкой, называемые по имени их первого конструктора дирижаблями типа Форланини.

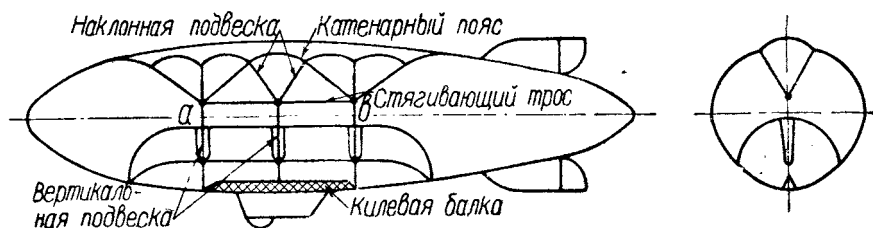
Несмотря на то, что инж. Нобиле удалось построить полужесткий дирижабль с хорошими летными качествами кубатурой всего в 1014 м³ (Мг), можно думать, что для дирижаблей объемом от 1000 до 6000—8000 м³ относительная большая длина киля и его вес сильно понижают весовую отдачу классических полужестких дирижаблей. Нормальный тип мягкого дирижабля с подвесной гондолой также имеет ряд крупных недостатков, разобранных в предыдущем разделе.

Чтобы избежать недостатков полужестких и мягких дирижаблей указанных кубатур, американской фирмой Гудиир был выработан новый тип дирижабля, называемый полумягким. Схема оболочки такого

дирижабля показана на фиг. 161. На этой фигуре видно, что гондола дирижабля подвешивается к короткой килевой балке. Длина этой балки обычно составляет от $\frac{1}{5}$ до $\frac{1}{4}$ длины оболочки. Посредством трех-четырех вертикальных тросов и разветвляющейся подвески килевая балка присоединяется к катенарным поясам. Эти катенарные пояса (числом от одного до трех) расположены лишь в средней части оболочки. Длина катенарного пояса обычно почти в два раза больше длины килевой балки.

Сосредоточенные нагрузки от гондолы и моторов в двух или трех сечениях передаются на килевую балку. Крепления гондолы и моторов размещаются приблизительно на половине длины килевой балки. Нагрузка балки передается вертикальным тросам по концам балки и в одной или двух точках по ее длине. Натяжение вертикальных тросов посредством наклонной подвески передается узлам катенарного пояса и через тросы катенарий и матерью поясов распределяется по сравнительно большой длине оболочки.

Определив длину носовой части оболочки, в которой вес оболочки, носового усиления и других деталей равняется подъемной силе этой



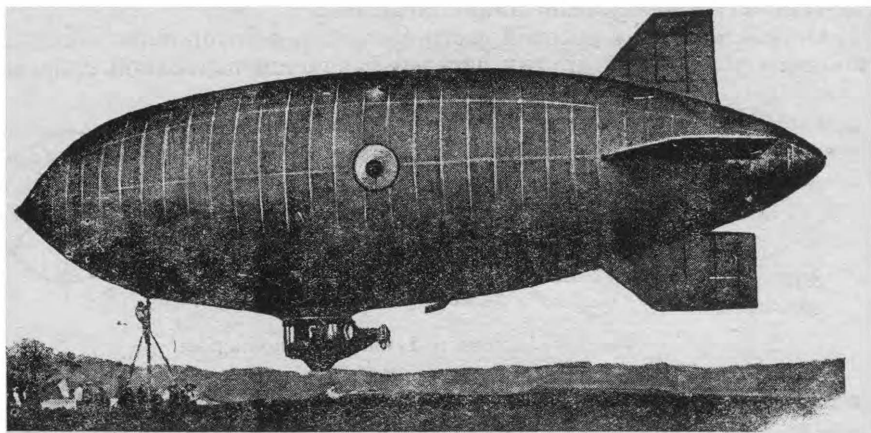
Фиг. 161. Схема полумягкого дирижабля.

части оболочки или немного ее превышает, мы определим положение начала пояса. Прделав те же расчеты для кормовой части, несущей оперение, мы определим положение кормового конца пояса. Средний отсек оболочки, который должен, помимо веса самой оболочки, баллона и других матерчатых деталей, нести вес килевой балки, гондолы, моторной установки и всей полезной нагрузки, загружается этой нагрузкой по всей своей длине посредством катенарного пояса. Таким образом загрузка оболочки по этой схеме происходит почти так же равномерно, как и в полужестких дирижаблях, с той лишь разницей, что почти вся загрузка передается на оболочку посредством внутренних поясов.

Полетное сверхдавление для такой оболочки будет меньше, чем для мягкого дирижабля, вследствие более равномерной загрузки и отсутствия горизонтальных составляющих натяжений подвески. Лобовое сопротивление такого дирижабля значительно меньше мягкого дирижабля с подвесной гондолой. Оно мало отличается от лобового сопротивления полужесткого дирижабля той же кубатуры. Общая высота судна получается меньше, чем у мягкого дирижабля с подвесной гондолой, и меньше, чем у полужесткого дирижабля с наружной килевой фермой. Она равна высоте полужесткого дирижабля с внутренней килевой фермой.

Расчет оболочки такого дирижабля следует начинать с определения положения носового и кормового концов катенарного пояса, установив ранее положение оперения так, как это указывалось для мягких дирижаблей. Затем следует выбрать схему поперечного сечения, установив число и расположение внутренних поясов, и определить его форму. При определении формы миделевого поперечного сечения рекомендуется принимать, что вся подъемная сила передается через внутреннюю подвеску.

Считая, что вес гондолы со всей нагрузкой равномерно передается на оболочку через пояса внутренних катенарий, строим эпюры перерезывающих сил и изгибающих моментов и определяем характеристичные сверхдавления, как это указано в разделе V. При определении нормального полетного сверхдавления необходимо учитывать аэродинамические нагрузки, так как в этом случае они воспринимаются самой оболочкой. Расчет катенарий и внутренней подвески, так же



Фиг. 162. Дирижабль Гудиир «Пилигрим».

как и их конструкция, ничем не отличаются от расчета и конструкции катенарий и подвески полужестких дирижаблей.

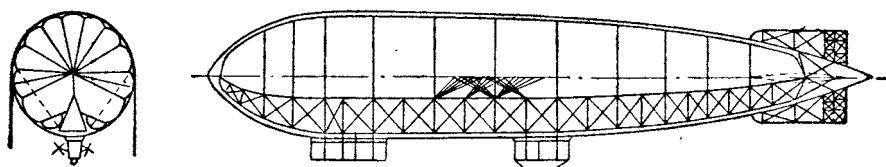
Горизонтальный стягивающий трос $a—в$ принимает на себя горизонтальные составляющие натяжений наклонных тросов, обеспечивает правильное положение вертикальных тросов и тем самым упрощает пропуск этих тросов сквозь баллонет.

Баллонет образуется так же, как в полужестких дирижаблях. Его границы почти совпадают с границами внутреннего пояса, что обеспечивает постоянство соотношений между подъемной силой центрального отсека и приходящейся на него нагрузкой. Крепление килевой балки к оболочке можно производить или с помощью наружных катенарий, или простой шпаговкой по всей длине балки. Число и расположение диафрагм устанавливается так, как это указано выше.

Фирма Гудиир строила такие дирижабли, начиная от 1420 м³ (типа «Пилигрим») до 10 000 м³ (последний военный морской дирижабль ТС-13). Все эти дирижабли имели хорошую весовую отдачу

и оказались очень удобными в эксплуатации. Дирижабль «Пилигрим» показан на фиг. 162.

В Советском союзе была произведена лишь одна попытка осуществить дирижабль полумягкой системы. При этом для упрощения схемы килевая балка была объединена с гондолой, имевшей по верху длину, равную $\frac{1}{4}$ длины оболочки. Для упрощения конструкции была выброшена и внутренняя подвеска, и гондola крепилась к матерчатому (из автопневма) поясу, наклеенному непосредственно на оболочку. Такая схема получилась несколько неудачной, так как длина гондолы не захватывала отсека, имеющего необходимую подъемную силу, и в носовой и кормовой частях оболочки за поясом возникали большие перерезывающие силы. Эти силы вызвали в материи оболочки значительные деформации сдвига, и сравнительно легкая двуслойная диагонально дублированная материя первой оболочки была быстро разрушена. Вторая оболочка была изготовлена из более тяжелой трехслойной материи, могущей выдержать касательные напряжения. В таком виде этот дирижабль СССР-В1 работает уже свыше трех лет и благодаря своей простоте чрезвычайно удобен в эксплуатации.



Фиг. 163. Схема дирижабля Форланини типа F-V.

Для дирижаблей средней и выше кубатур может быть использован тип полужесткого дирижабля Форланини. Схема таких дирижаблей изображена на фиг. 163.

Газ в дирижабле типа Форланини помещается во внутренней, так называемой газовой оболочке. Сечению газовой оболочки посредством многих продольных поясов придается почти круговая форма. Эти продольные пояса, стягивая оболочку, значительно уменьшают возникающие в ней напряжения. Через эти же пояса передается подъемная сила газа. Продольные пояса сводятся на теоретической оси оболочки в один общий центральный катенарный пояс. Узлы катенарий центрального пояса посредством системы тросов присоединяются к узлам килевой фермы. Помимо основных поясов, служащих для восприятия подъемной силы, в нижней части газовой оболочки имеются дополнительные пояса для стягивания оболочки и уменьшения газового давления на килевую ферму и, в частности, на ее боковые расчалки.

Газовая оболочка заключена в наружную оболочку, охватывающую также и килевую ферму. В пространство между наружной и газовой оболочками накачивается воздух под давлением, достаточным для того, чтобы придать наружной оболочке гладкий вид. Наполненный воздухом пространство служит баллонетом. При уменьшении объема газа в него для сохранения формы внешней оболочки подается воздух.

Газовая оболочка разделяется поперечными диафрагмами на ряд отдельных отсеков. В верхней части наружная и газовая оболочки соединяются между собой продольными поясами. Носовое усиление и кормовое развитие помещаются внутри наружной оболочки в воздушном пространстве.

Достоинством этой системы является следующее.

1) потолок дирижабля зависит лишь от величины расходуемого груза, а не от объема баллонетов, как в дирижабле классического полужесткого типа;

2) при всех изменениях сверхдавления в оболочке (в допустимых пределах) поперечное сечение оболочки остается неизменным и близким к круговому;

3) изменение сверхдавления не вызывает заметных изменений формы поперечного сечения, а следовательно, и меридианального обвода, постоянство же меридианального обвода гарантирует килевую форму от дополнительных нагрузок;

4) подъемная сила передается непосредственно на верхние узлы килевой фермы, облегчая этим ее работу;

5) газовая оболочка может быть сделана из очень легкой материи, так как она испытывает малые напряжения и полностью защищена от атмосферных и внешних воздействий, ввиду этого диагональный слой не нужен;

6) газ защищен от непосредственных атмосферных воздействий двойной оболочкой и воздушной прослойкой между ними, поэтому действие инсоляции на дирижабли этого типа будет невелико;

7) наружная оболочка не должна быть газонепроницаемой, она не испытывает значительного сверхдавления, так как сверхдавление воздуха не изменяется по высоте оболочки; поэтому оболочка может быть сделана из лакированной материи, причем в процессе эксплуатации лакировку легко обновлять;

8) значительно ускоряется и упрощается сборка судна, так как килевая ферма подводится под оболочку полностью собранной и со всем установленным на ней оборудованием.

Первые дирижабли типа Форланини имели следующую конструкцию оболочки. Газовая оболочка была сделана из легкой прорезиненной двухслойной материи, состоящей из шелка весом по 32 г/м^2 каждый слой и прорезинки по 40 г/м^2 изнутри и снаружи, так что полный вес материи получился равным 144 г/м^2 при газонепроницаемости в 4 л/м^2 в сутки. Оболочка имела 10 продольных радиальных поясов из шелка весом 32 г/м^2 . Эти радиальные пояса были расположены так, что углы между двумя соседними поясами увеличивались сверху вниз. Последний пояс был расположен несколько ниже экватора. В нижней части оболочки имелось с каждой стороны по одному дополнительному стягивающему поясу. Газовое пространство было разбито 11 поперечными диафрагмами на 12 газовых отсеков, величина которых уменьшалась от середины к носу и корме. Диафрагмы были сделаны из однослойного прорезиненного шелка весом всего в 80 г/м^2 .

Катенарный пояс из девятислойной шелковой материи имел по шесть катенарий на каждую панель килевой фермы. От узлов килевой фермы шли тросы к кольцу каждой катенарии двух соседних панелей,

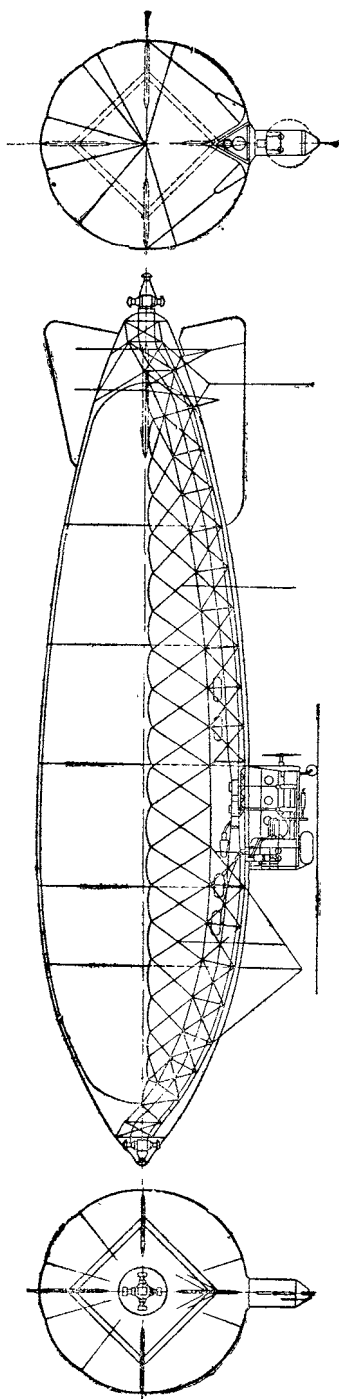
так что к каждому кольцу катенарий подходило по два троса, наклоненных в противоположные стороны. Это должно было препятствовать продольным перемещениям газовой оболочки относительно килевой фермы.

Наружная оболочка была сделана из однослойной шелковой ткани весом 80 г/м^2 . Эта материя была снаружи лакирована, а изнутри усилена шелковыми лентами, идущими по меридианам и поперечным сечениям оболочки на расстоянии 600 мм одна от другой.

Первые дирижабли Форланини типов F-4 и F-5 имели блестящие для своего времени летные характеристики и применялись во время империалистической войны для высотных бомбардировок.

После долгого перерыва фирма Форланини возобновила свою работу и построила в 1932 г. небольшой (4000 м^3) экспериментальный дирижабль «Омниадир». На фиг. 164 видно, что при сохранении той же схемы конструкция оболочки значительно упрощена. Число внутренних поясов уменьшено до шести. Так же уменьшено число отсеков, но это можно объяснить меньшими размерами самого дирижабля. Уменьшено число панелей катенарного пояса, и их длины равны длинам панелей килевой фермы. Значительно упрощена также схема присоединения катенарного пояса к килевой ферме: из каждого узла фермы идет к носу и корме лишь по одному тросу. Введены, как видно на правом чертеже, дополнительные наклонные тросы, закрепленные за нижние узлы килевой фермы. Эти тросы служат для предохранения килевой фермы от бортового качания.

Система дирижабля Форланини не получила большого развития, но идеи, заложенные в схему этого дирижабля, безусловно очень интересны.



Фиг. 164. Дирижабль «Омниадир».

При изменениях сверхдавления воздуха, наполняющего наружную оболочку, форма ее поперечных сечений будет изменяться в очень небольших пределах, оставаясь близкой к кругу. Следовательно, кривизна меридианов оболочки и ее длина будут также мало изменяться при изменениях сверхдавления наполняющего ее воздуха.

Таким образом наружная оболочка, обладающая большим моментом сопротивления, будучи связанной по низу с килевой фермой, облегчает работу этой последней, а практическая неизменность формы оболочки при изменениях сверхдавления значительно облегчает решение задачи о совместной работе оболочки и килея. Кажущаяся сложность оболочки не должна служить препятствием для разработки и упрощения этой схемы. Наша предварительная работа над этой схемой показывает ее большие потенциальные возможности.

Подробное сравнение дирижабля Форланини с полужестким было дано в нашей работе «К вопросу о выборе конструкции дирижаблей», Технический бюллетень Дирижаблестроя № 5 (11), 1934 г.

Раздел VII

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТЕРЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЖЕСТКИХ ДИРИЖАБЛЕЙ

§ 1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГАЗОВЫХ БАЛЛОНОВ

Матерчатые конструкции жестких дирижаблей состоят в основном из газовых баллонов, баллонов с топливным газом, наружной обтяжки корпуса и оперения, газовых клапанов и газопроводов. Вопрос о проектировании матерчатых конструкций жестких дирижаблей чрезвычайно слабо освещен в мировой литературе, а практического опыта по постройке такого рода дирижаблей у нас в Советском союзе еще не имеется. Поэтому настоящий раздел следует рассматривать только как попытку систематизировать отрывочные литературные данные по этому вопросу.

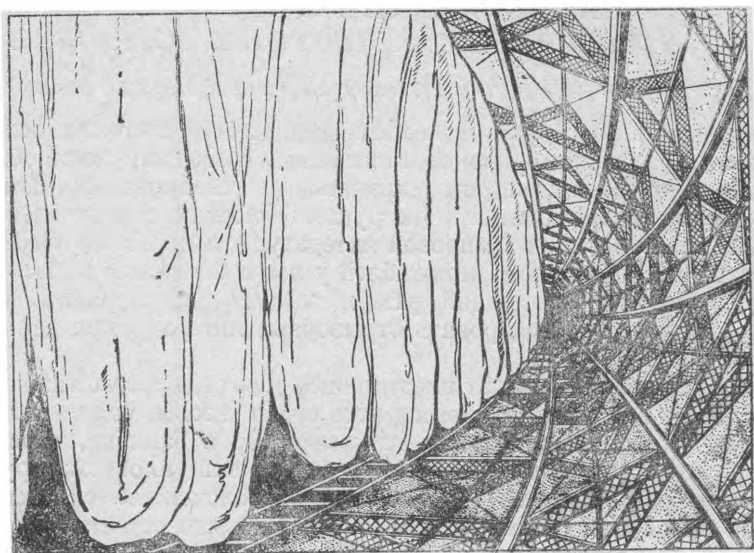
Газовые баллоны служатместилищем для подъемного газа. Никакого участия в силовой работе корпуса судна газовые баллоны не принимают. Подъемная сила газа, заключенного в баллоне, передается на корпус посредством баллонной сети той или иной конструкции. Форма газового баллона определяется расположением системы баллонных проволок. Нижняя часть баллона обычно остается незакрепленной и, следовательно, может изменять свое положение при различных степенях выполнения баллона. Торцовые стенки баллона опираются либо на охватывающую баллон сеть типа R-101, либо на расчалки шпангоутов.

В обычных условиях полета уровень нулевого сверхдавления газа располагается выше нижней точки баллона, и лишь в исключительных условиях баллон выполняется полностью, и сверхдавление в нижней точке получает некоторую, обычно малую (до 5—8 мм вод. ст.) величину. От атмосферных воздействий газовый баллон защищен наружной обтяжкой.

В силу всего сказанного, газовый баллон должен представлять мешок из очень легкой газонепроницаемой материи незначительной прочности. Геометрически этот мешок должен быть образован по внутренним очертаниям того отсека, в котором он размещается, с некоторым избытком, предохраняющим материю баллона от чрезмерных натяжений при ее выпучивании сквозь баллонную сеть. Раскрой такого мешка при заданной конфигурации отсека может производиться обычными методами начертательной геометрии. Раскрой боковых стенок баллона производится прямыми продольными полотнищами. Торцы

также раскраиваются из прямых продольных полотнищ, идущих по горизонтальным хордам поперечного сечения.

При достаточных провесах материи баллона в промежутки проволок, натяжения в материи очень невелики, поэтому для изготовления баллонов применяется однослойная материя, основным требованием к которой является минимальная газонепроницаемость. Германская фирма Цепелин для баллонов своих жестких дирижаблей применяет почти исключительно однослойную хлопчатобумажную ткань, газонепроницаемость которой достигается накладкой двух или больше слоев бодрюша. Полный вес такой материи получается около 160 г/м^2 при газопроницаемости $1\text{—}2 \text{ л/м}^2$ в сутки.



Фиг. 165. Подвеска пустых газовых баллонов дирижабля LZ-127.

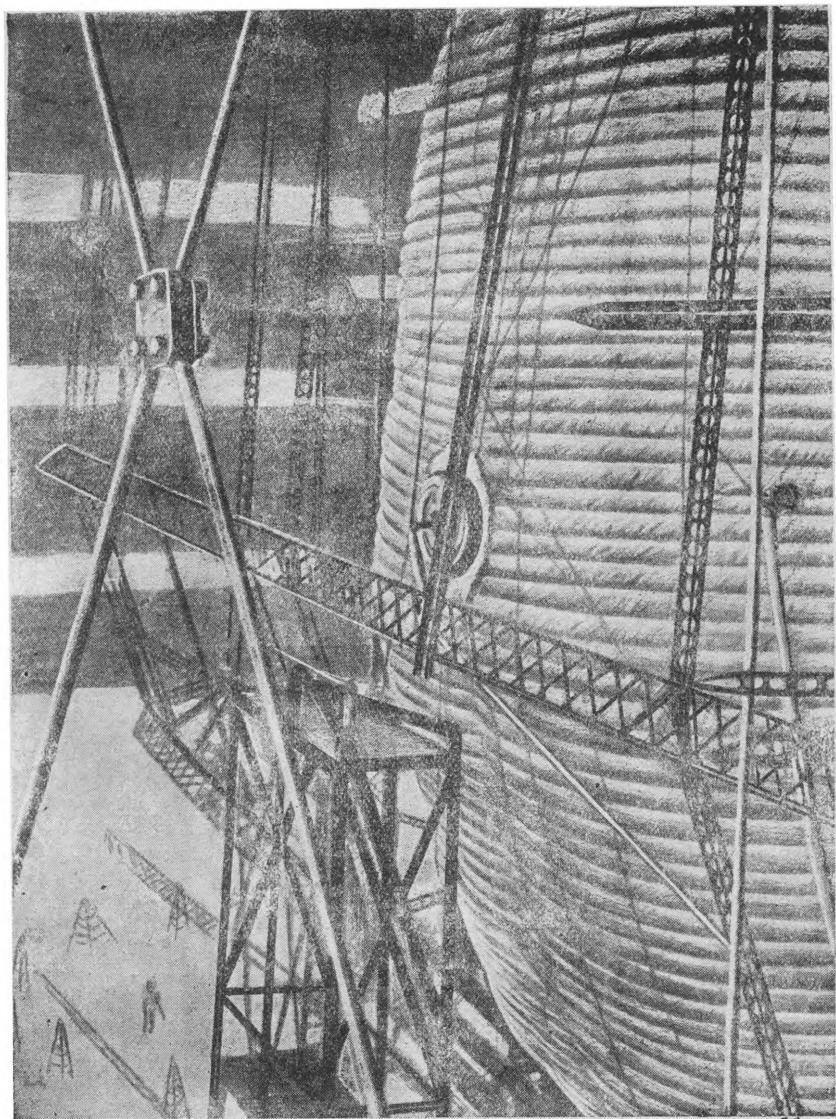
Швы полотнищ баллонов прошиваются хлопчатобумажными нитками обычно одной строчкой и заклеиваются снаружи и изнутри лентами из бодрюшированной материи.

Из материи такого же типа делались баллоны английских жестких дирижаблей до R-100 и R-101 включительно. Для изготовления баллонов американских жестких дирижаблей «Акрон» и «Мэкон» была применена новая материя, пропитанная желатин-латексом и снаружи парафинированная. Общий вес такой материи был равен около 200 г/м^2 при газопроницаемости, немногим превышающей газопроницаемость бодрюшированной материи. Точные характеристики этой материи не были опубликованы.

Для монтажа газовые баллоны должны иметь в хребтовой части специальные крепления, позволяющие подвешивать баллоны до газонаполнения к коньковому стрингеру каркаса (фиг. 165).

Каждый баллон должен иметь для наполнения в нижней своей части аппендикс с достаточно длинным шлангом. Кроме того, баллон должен

иметь приспособления для крепления газовых клапанов. Автоматические газовые клапаны устанавливаются обычно в нижней части



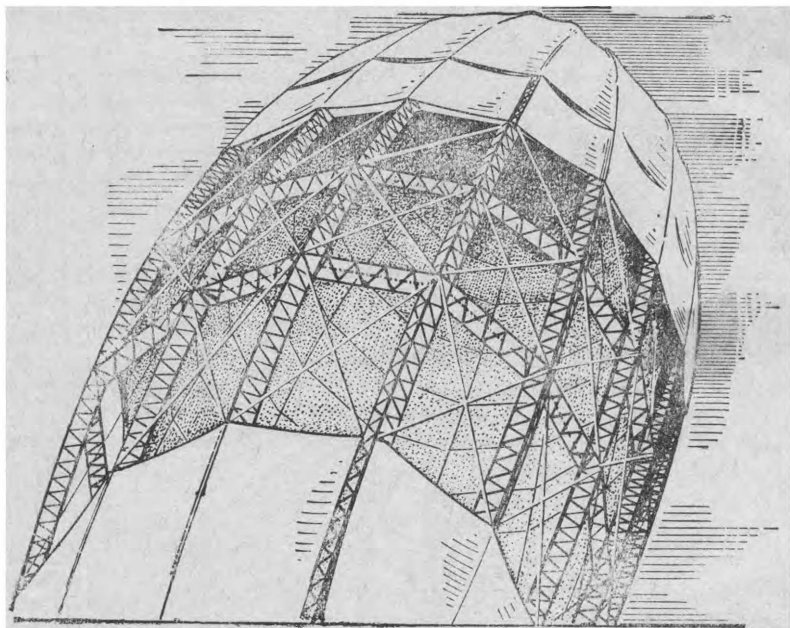
Фиг. 166. Газовый баллон дирижабля R-101; обтянутый сетью.

торца, а маневренные — в верхней части. Чтобы уменьшить перетирание баллона об окружающие проволоки, а так же его напряжения, в некоторых конструкциях применяют специальную баллонную сеть из тонкого (диаметром 3 мм) льняного шпагата с ячейками, длина сторон которых равна от 300 до 600 мм.

§ 2. НАРУЖНЫЕ ОБТЯЖКИ ЖЕСТКИХ ДИРИЖАБЛЕЙ

Наружная обтяжка корпуса жесткого дирижабля служит для закрытия всей структуры каркаса и для придания дирижаблю плавной обтекаемой формы. Материя обтяжки должна быть туго натянута и иметь гладкую поверхность, чтобы уменьшить трение воздуха.

При больших скоростях полета внешняя обтяжка, имеющая сравнительно большие свободные панели, испытывает значительные аэродинамические нагрузки и, следовательно, для сопротивления этим нагрузкам должна обладать достаточной прочностью. Газо- или воздухо- непроницаемости от обтяжки не требуется, так как в случае утечки газа из баллонов газ должен быть немедленно выведен из обтяжки наружу, во избежание образования взрывчатой смеси.



Фиг. 167. Монтаж обтяжки корпуса дирижабля R-100.

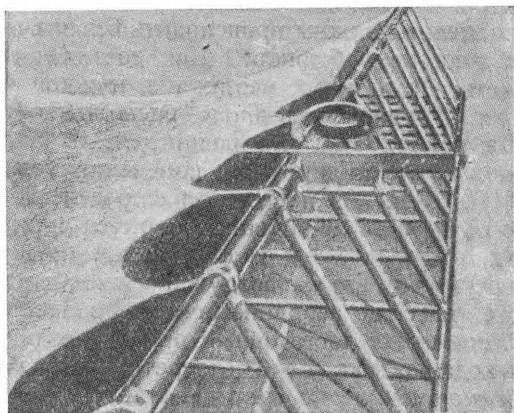
Внешняя обтяжка подвержена атмосферным воздействиям, поэтому покрытие должно иметь высокую эксплуатационную стойкость. При обычной конфигурации каркаса раскрой наружной обтяжки может быть произведен строго геометрическими методами, так как корпус жесткого дирижабля представляет собой правильное геометрическое тело, поперечными сечениями которого являются правильные многоугольники. Ввиду этого достаточно произвести теоретическую развертку одной грани корпуса и по полученным данным раскраивать и изготовлять всю остальную обтяжку. Каждая грань разбивается на отдельные панели, длина которых отвечает расстояниям между главными шпангоутами. Благодаря этому не приходится иметь дело с чересчур длинными (до 240 м) полотнищами, неудобными при монтаже обшивки на окончательно собранном корпусе (фиг. 167).

В соответствии с раскройной шириной применяемой материи панель обтяжки раскраивается на продольные полотнища, идущие вдоль дирижабля. Такое расположение полотнищ дает некоторое уменьшение поверхностного трения.

Конструкция крепления обтяжки к каркасу устанавливается в зависимости от метода, принятого для лакировки обтяжки. Фирма Цепелин натягивает обтяжку на корпус в неокрашенном виде и производит лакировку ее уже на обтянутом корпусе. В этом случае кромки каждой панели усиливаются забортованным шпагатом и наложенной на него лентой. По кромке материи и ленте вдоль шпагата ставятся люверсы с шагом 75—80 мм. Посредством люверсов панели прищипываются к шпангоутам и стрингерам корпуса, а также соединяются между собой.

Чтобы избежать значительной ширины шпаговки и вместе с тем получить необходимую натяжку, панели обтяжки должны быть раскроены с некоторым уменьшением их теоретических размеров. Величина этого уменьшения должна устанавливаться для каждого типа материи опытным путем.

Покрытие большой поверхности обтяжки (до 20 000—30 000 м²) лаком при работе на значительной высоте (до 40 м) и в неудобных условиях производится сравнительно медленно и стоит дорого. Поэтому панели обтяжки английского дирижабля R-101 лакировались на земле, а необходимая натяжка достигалась посредством специальных приспособлений. Кромки панели устраивались в виде катанарий (фиг. 168), за узлы которых обтяжка притягивалась к стержням каркаса. Величина натяжения контролировалась специальными индикаторами с тем, чтобы натяжение обтяжки составляло 60—70 кг/м. Для подтягивания ослабевшей во время эксплуатации обтяжки применялись вспомогательные стрингера, которые можно было приподнимать над шпангоутами. Такая конструкция ускоряет и упрощает процесс монтажа обтяжки, но вызывает утяжеление и усложнение всего устройства.



Фиг. 168. Монтаж обтяжки корпуса дирижабля R-101.

Для наружной обтяжки применяют льняные или хлопчатобумажные ткани, а иногда и несколько типов тканей. Так например, на дирижабле LZ-127 носовая часть обтяжки на протяжении двух пролетов, по две панели выше и позади винтов и пролеты в районе оперения, так же как и само оперение, обтянуты льняной тканью весом около 200 г/м². Следующие два носовых пролета обтянуты перкалем с весом около

140 г/м², а остальная часть обтяжки сделана из перкаля весом 100 г/м². Обтяжка дирижабля R-101 целиком сделана из льняного полотна весом 150 г/м². В некоторых случаях в целях усиления на материю обтяжки изнутри накладывают ленты.

Лакировка наружной обтяжки производится авиационным лаком обычно с примесью алюминиевого порошка для получения окраски, отражающей солнечные лучи. Наилучшие результаты дает окраска целлоновыми лаками. Первое покрытие для получения более гладкой поверхности шлифуется тонкими номерами наждачной бумаги.

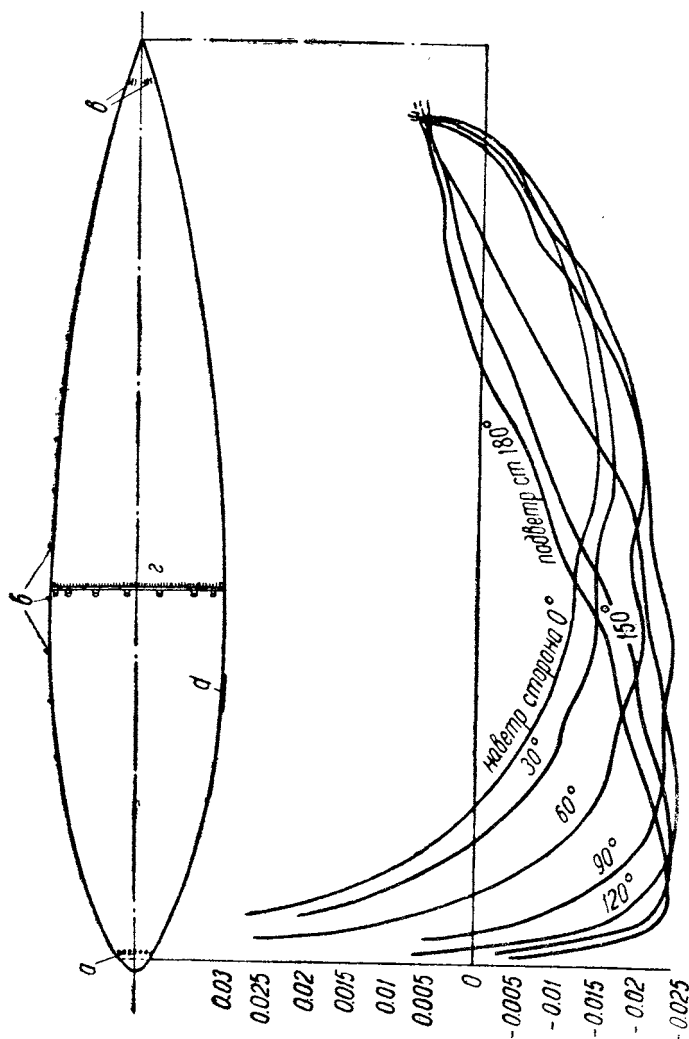
При конструировании наружной обтяжки большое внимание следует уделять вентиляционным отверстиям. Для лучшей обтекаемости дирижабля внутри обтяжки следует поддерживать некоторое избыточное давление воздуха. Вместе с тем следует обеспечить общую надежную вентиляцию воздушного промежутка, чтобы удалять из него водород, выпускаемый автоматическими клапанами или проходящий через оболочки баллонов. При быстром подъеме или спуске дирижабля происходит изменение объема воздушного промежутка. Эти изменения должны происходить без значительных колебаний давления воздуха под обтяжкой. Для достижения этого на обтяжке должны иметься в нужных местах и в нужном числе вентиляционные отверстия. Трудности выбора расположения вентиляционных отверстий вызываются тем, что распределение аэродинамических давлений по корпусу изменяется при изменении угла атаки дирижабля.

На фиг. 169 показаны распределение аэродинамических давлений по различным меридианам корпуса дирижабля R-101 при полете под углом атаки в 10° и схема размещения вентиляционных отверстий. Отверстия для выпуска воздуха *a* и *b* расположены в носу и корме корпуса, т. е. там, где аэродинамические давления всегда положительны. Это обеспечивает достаточный приток воздуха в корпус. Чтобы избежать выхода воздуха из этих отверстий, их снабжают матерчатыми рукавами, сжимающимися и закрывающими отверстия при падении давления. Эти же матерчатые рукава задерживают частично атмосферные осадки, попадающие в отверстия во время полета дирижабля.

Для подачи воздуха при спуске судна с остановленными моторами по траектории, близкой к вертикали, в нижней части корпуса имеются еще дополнительные отверстия *d*, находящиеся при таком спуске в зоне повышенных давлений. Отверстия для выпуска воздуха *г* сделаны по всему периметру сечения, расположенного вблизи миделя корпуса, где аэродинамические давления имеют отрицательные значения почти по всему обводу при всех углах атаки. Чтобы избежать наддува воздуха через те из этих отверстий, которые лежат в зоне положительных давлений, имеются специальные приспособления. Эти приспособления состоят из покрывшек, действующих наподобие жабр рыбы. Соответственно подобранные пружины позволяют покрывшкам открываться под действием внутреннего давления, но внешнее давление закрывает их.

Для выпуска наружу газа, вышедшего из баллонов, по верхнему меридиану оболочки расположен ряд отверстий *б*, снабженных покрывшками, препятствующими атмосферным осадкам попадать внутрь оболочки.

Расчет впускных и выпускных отверстий может быть произведен по диаграммам распределения давления по корпусу и по заданным скоростям подъема или спуска дирижабля. Этот расчет производится по обычным формулам гидравлики и не представляет каких-либо особенностей.



Фиг. 169. Схема вентиляционных отверстий дирижабля Р 101.

В заключение приводим некоторые весовые данные матерчатых конструкций жестких дирижаблей.

Самый большой газовый баллон дирижабля R-100, имевший объем 14 500 м³ и полную поверхность 4000 м², весил 700 кг, т. е.:

$$P_1 = 1,189 U_{\text{воз}}^{3/2} \quad (228)$$

или

$$P_1 = 6,79 p U^{\frac{2}{3}}, \quad (229)$$

где p — вес материи баллона в $\text{кг}/\text{м}^2$, а U его объем в м^3 .

Газовые баллоны дирижабля Шютте-Ланц SL-21 объемом $50\,000\text{ м}^3$ весили 3380 кг , т. е.

$$P_1 = 2,31 U^{\frac{2}{3}}. \quad (230)$$

Вес газовых баллонов дирижабля R-37 объемом $60\,000\text{ м}^3$ составлял 4760 кг ; следовательно,

$$P_1 = 3,108 U^{\frac{2}{3}}. \quad (231)$$

Вес наружной обтяжки дирижабля SL-20 составляет 1870 кг , т. е.:

$$P_2 = 1,28 U^{\frac{2}{3}}. \quad (232)$$

Вес наружной обтяжки дирижабля LZ-127 объемом (воздушным) в $105\,000\text{ м}^3$ составляет 3400 кг ; следовательно,

$$P_2 = 1,54 U^{\frac{2}{3}}. \quad (233)$$

Вес наружной обтяжки (со шнуровкой) дирижабля R-36 составляет 2212 кг , т. е.:

$$P_2 = 1,45 U^{\frac{2}{3}}. \quad (234)$$

Раздел VIII

ГАЗОВЫЕ И ВОЗДУШНЫЕ КЛАПАНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ОБОЛОЧЕК ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

§ 1. РОЛЬ КЛАПАНОВ И ПОНЯТИЕ ОБ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Клапаны воздушных судов являются средством регулирования сплавной силы и внутреннего давления в оболочке, следовательно, от правильности и безотказности их действия зависит безопасность судна. Действительно, диапазон между нормальным полетным и максимально допустимым давлением внутри оболочки заключается для мягких дирижаблей в пределах от 40 до 60 мм вод. ст., а для полужестких дирижаблей — в пределах от 15 до 30 мм вод. ст. Между тем разность атмосферного давления, а следовательно, и сверхдавления в замкнутой оболочке, при подъеме на 1000 м составляет около 1170 мм вод. ст.

Автоматический газовый клапан при подъеме дирижабля с максимально возможной вертикальной скоростью должен сохранять сверхдавление внутри оболочки на заданном уровне. Отсюда очевидно, что пропускная способность газового клапана зависит от объема оболочки и скорости подъема. Случайная неплотность закрытия клапана вызывает потерю сверхдавления и быстрое уменьшение сплавной силы судна, что также может привести к аварии. По своему расположению клапаны на мягких дирижаблях большей частью вовсе недоступны для осмотра и ремонта в полете. На полужестких дирижаблях клапаны могут осматриваться и частично исправляться в полете, но и то с большими трудностями. Все вышесказанное требует большого внимания к расчету и конструированию газовых и воздушных клапанов.

Проектирование каждого клапана распадается на следующие основные этапы:

- а) гидравлический расчет с определением пропускной способности и размеров живого сечения;
- б) подбор и расчет механизма, обеспечивающего автоматическую работу клапана;
- в) конструктивное оформление данной схемы;
- г) испытание и регулировка.

Рассмотрим отдельно эти этапы в применении к клапанам различного назначения.

§ 2. РАСЧЕТ КЛАПАНОВ

Первой частью гидравлического расчета является определение необходимой пропускной способности клапана для заданной скорости подъема судна. Для рассмотрения этой задачи примем обозначения:

- U — объем судна (номинальный газовый),
- V — расчетная скорость подъема судна,
- v — скорость истечения газа через клапан,
- n — число клапанов,
- p_n — нормальное газовое давление на уровне клапана,
- p_k — давление автоматического открытия клапана,
- γ — удельный вес газа относительно воздуха,
- k — коэффициент расхода клапана,
- F — площадь живого сечения клапана,
- d — диаметр клапана,
- h — величина максимального открытия клапана,
- Q — расход газа через клапан в 1 сек.

Тогда для определения Q по заданным U и V можем написать следующее равенство:

$$Q = \frac{UV}{8000n}, \quad (235)$$

где 8000 — высота однородной атмосферы в метрах. Расчет расхода клапана по однородной атмосфере дает ошибку, преувеличивающую необходимый расход и, следовательно, увеличивающую безопасность судна.

Принимая для дирижабля максимальную скорость подъема V равной 10 м/сек, получаем:

$$Q = \frac{U}{800n} \text{ м}^3/\text{сек}. \quad (236)$$

Для определения по найденному расходу живого сечения клапана нужно знать скорость истечения газа. Некоторые источники (например Летурнер) рекомендуют принимать скорость истечения водорода через клапан равной 30 м/сек. Как будет видно из дальнейшего, эта скорость является приуменьшенной и поэтому приводит к излишне большим размерам клапана. Более правильно определение скорости по обычной формуле гидравлики:

$$v = \sqrt{2g \frac{p}{\gamma}}. \quad (237)$$

Для газовых клапанов, приняв удельный вес водорода $\gamma = 0,289 \text{ кг/м}^3$, получим:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81p}{0,289}} = 8,24 \sqrt{p} \text{ м/сек}. \quad (238)$$

Для клапанов дирижаблей величину p нужно брать равной p_n , т. е. нормальному полетному давлению у клапана. Для клапанов

привязных аэростатов p берется равным p_k , так как автоматический механизм должен работать только при $p \geq p_k$.

Для воздушных клапанов $\gamma = 1$, поэтому формула (237) принимает вид:

$$v = 4,43 \sqrt{p} \text{ м/сек}, \quad (239)$$

где для p рекомендуется брать величину p_n , так как маневрирование воздушными клапанами обычно служит для поддержания нормального полетного давления.

Для полужесткого дирижабля средней кубатуры $p_0 = 10 \text{ кг/м}^2$, а диаметр миделя около 20 м. Поэтому p_n можно принять равным 30 кг/м². Тогда формула (237) даст:

$$v \approx 45 \text{ м/сек}.$$

Для мягкого дирижабля средней кубатуры $p_0 = 35 \text{ кг/м}^2$, превышение клапана — 10 м, поэтому $p_n = 46 \text{ кг/м}^2$, что по формуле (237) дает:

$$v \approx 56 \text{ м/сек}.$$

Определим теперь площадь живого сечения клапана:

$$F = k \frac{Q}{v}. \quad (240)$$

Или, подставляя вместо Q и v их значения, получаем:

$$F = k \frac{U}{n \sqrt{2g \frac{p}{\gamma} \cdot 8000}}, \quad (241)$$

или для газовых клапанов:

$$F = 0,0001515 k \frac{U}{n \sqrt{p}} \text{ м}^2, \quad (242)$$

и для воздушных клапанов:

$$F = 0,000282 k \frac{U}{n \sqrt{p}}. \quad (243)$$

Коэффициент расхода k принимается здесь равным от 0,48 до 0,65.

При лабораторном испытании клапана типа К-1 для воздуха на давлениях до 30 кг/м² было получено $k = 0,6$.

При испытании в элинге клапана типа К-3, установленного на дирижабле СССР-ВЗ, при начальном давлении на клапане около 55 кг/м² было получено $k = 0,55$. Для предварительных расчетов рекомендуется брать $k = 0,5$, так как экспериментально проверенных значений k имеется весьма мало.

При $k = 0,5$ формулы (242) и (243) дают:

$$F = 0,0000758 \frac{U}{n \sqrt{p}} \text{ м}^2. \quad (244)$$

$$F = 0,000141 \frac{U}{n \sqrt{p}} \text{ м}^2. \quad (245)$$

При выборе клапанов для полужесткого дирижабля RS-1 были испытаны на расход воздуха типовые клапаны американских мягких дирижаблей, причем (Б лек м о р и П э г о н, «Нежесткие воздушные суда») получены следующие результаты:

для клапана типа Гудир диаметром 18"

$$Q = 3,82 h \sqrt{p} \text{ м}^3/\text{сек.} \quad (246)$$

Для клапана типа Гамметр диаметром 20" с дефлектором (см. ниже описание клапана)

$$Q = (4,82 - 13,05 h) h \sqrt{p} \text{ м}^3/\text{сек.} \quad (247)$$

Для того же клапана, но со снятым дефлектором

$$Q = (4,57 - 14,34 h) h \sqrt{p} \text{ м}^3/\text{сек.} \quad (248)$$

Определяя отсюда коэффициент расхода k для сверхдавления воздуха в 36 кг/м^2 , при открытиях $h = 55 \text{ мм}$ для клапана Гудир 18" и при $h = 64 \text{ мм}$ для клапана Гамметра 20", получаем: для Гудир 18" $k = 0,6$, для Гамметр 20" $k = 0,564$, для Гамметр (без дефлектора) 20" $k = 0,525$.

Найдя необходимую площадь живого сечения F , можно определить основные размеры клапана, т. е. его диаметр d и ход тарелки h . Если приравнять площадь кругового отверстия клапана площади боковой поверхности кругового цилиндра, открываемой для выхода газа поднявшейся тарелкой, то получаем тот ход тарелки, при котором круговое отверстие клапана будет полностью использовано для выхода газа:

$$\frac{\pi d^2}{4} = \pi d h,$$

откуда

$$h = \frac{d}{4}.$$

Таким образом для клапана диаметром 400 мм нужно иметь ход тарелки, равный 100 мм. Конструктивное осуществление клапана с таким ходом крайне затруднительно, почему обычно применяют $h = \frac{d}{8}$. Тогда $F = \frac{\pi d^2}{8}$, или

$$d = \sqrt{\frac{8}{\pi} F} = 1,595 \sqrt{F} \text{ м.} \quad (249)$$

Таким образом, пользуясь приведенными выше формулами, можно произвести так называемый гидравлический расчет клапана. Не выясненным остается еще число клапанов n . Для определения n рассмотрим схему обычного автоматического тарельчатого клапана (фиг. 170), нож тарелки которого опирается на резиновую подушку того или иного типа.

Обозначим через R силу пружины, притягивающую тарелку клапана к подушке, и через q — давление единицы длины ножа v на подушку a . Чтобы между ножом и подушкой существовала

полная обтюрация, необходимо, чтобы q было не меньше некоторой определенной величины. Пользуясь прежними обозначениями, можно написать:

$$\pi dq = R - \pi \frac{d^2}{4} p_n.$$

Но из условий автоматического открытия клапана

$$R = \pi \frac{d^2}{4} p_k$$

и, следовательно,

$$\pi dq = \frac{\pi d^2}{4} p_k - \frac{\pi d^2}{4} p_n,$$

откуда

$$d = \frac{+q}{p_k - p_n}. \quad (250)$$

Отсюда очевидно, что d — вполне определенная функция q , p_k и p_n , причем q зависит от материала ножа и подушки, а p_k и p_n — от типа дирижабля.

Приняв для нормальной резиновой подушки $q = 60 \text{ г/см} = 6 \text{ кг/м}$ и считая, что для мягкого дирижабля $p_k = 65 \text{ кг/м}^2$ и $p_n = 45 \text{ кг/м}^2$, имеем:

$$d = \frac{4 \cdot 6}{65 - 45} = 1,2 \text{ м},$$

что является нижним пределом размера клапанов.

Чтобы получить клапан меньшего диаметра, нужно или уменьшить погонное давление q или увеличить разность $p_k - p_n$.

Приняв $q = 4 \text{ кг/м}$, $p_k = 85 \text{ кг/м}^2$ и $p_n = 45 \text{ кг/м}^2$, получаем наименьший диаметр клапана:

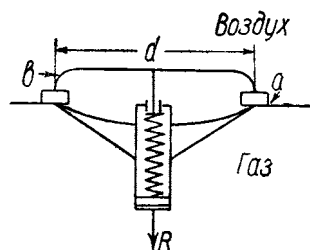
$$d = \frac{4 \cdot 4}{85 - 45} = 0,4 \text{ м} = 400 \text{ мм}.$$

Практически для мягких дирижаблей чаще всего применяются газовые клапаны диаметром от 360 до 500 мм, так как дальнейшее увеличение диаметра вызывает значительные конструктивные затруднения.

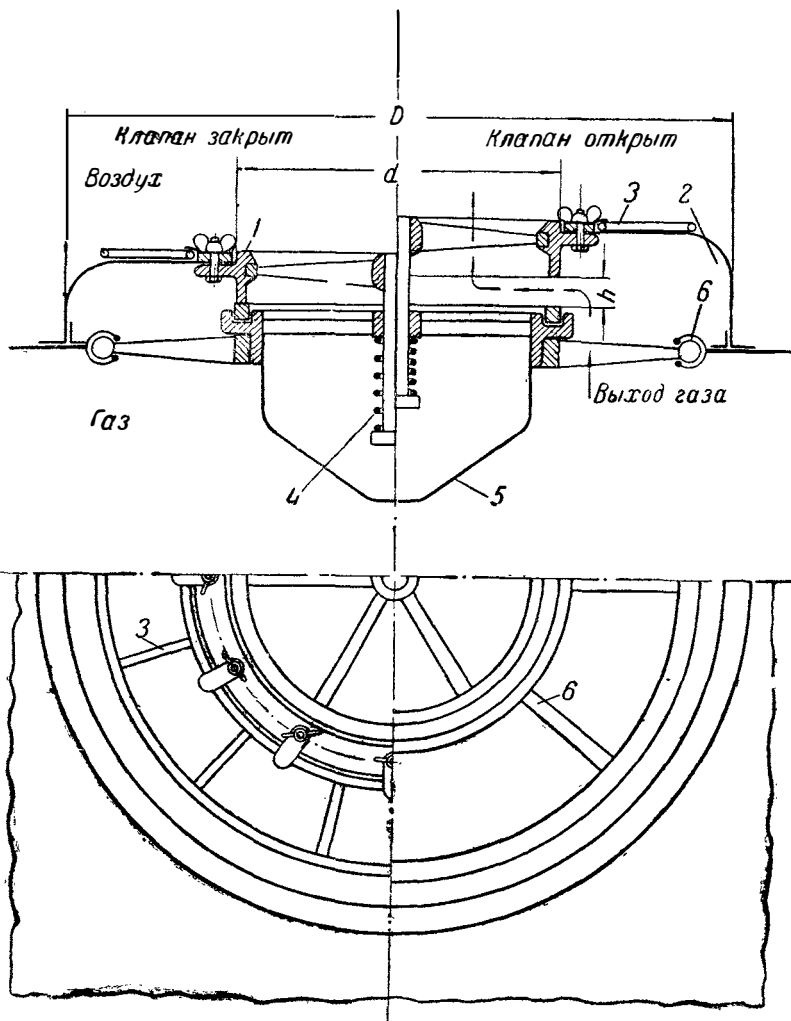
Взяв диаметр клапана в указанных пределах, мы найдем даваемый им расход газа. По этому расходу и объему дирижабля, пользуясь хотя бы формулой (236), находим число клапанов n .

Чтобы при сравнительно небольших диаметрах клапанов и малой разнице давлений ($p_k - p_n$) получить достаточно высокие значения q , для полужестких дирижаблей применяют клапаны с расширительным кольцом. Схема такого клапана изображена на фиг. 171.

Как видно из чертежа, давление газа, необходимое для автоматического открывания клапана, действует на поверхность внешнего



Фиг. 170. Схема тарельчатого клапана.



Фиг. 171. Схема клапана с расширительным кольцом.

расширительного кольца 2 диаметром D , изготовленного из материи и усиленного жесткой решеткой 3, связанной с кольцевым ножом клапана 1. Механизм клапана 4, помещенный в газонепроницаемый кожух 5, закрепляется на оболочке посредством установочного кольца 6, приштапованного к оболочке.

Сохраняя прежние обозначения, рассмотрим связь между отдельными размерами клапана, удельным давлением q и давлениями p_k и p_n .

По аналогии с тарельчатым клапаном можно написать:

$$\pi d q = R - \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p_n.$$

Но

$$R = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p_k,$$

следовательно

$$\pi d q = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) (p_k - p_n). \quad (251)$$

Отсюда получаем

$$d^2 + \frac{4q}{(p_k - p_n)} d - D^2 = 0. \quad (252)$$

Решив это уравнение относительно d и беря положительный корень, находим:

$$d = -\frac{2q}{p_k - p_n} + \sqrt{\frac{4q^2}{(p_k - p_n)^2} + D^2}. \quad (253)$$

Отсюда видно, что d зависит от трех величин q , $(p_k - p_n)$ и D , из которых q и $(p_k - p_n)$ нам заданы, а D , так же как и d , является неизвестным. Вместе с тем видно, что при заданных q и $(p_k - p_n)$ для получения желательной величины d мы можем варьировать размером D . Практически обычно получают d из гидравлического расчета, поэтому задача сводится к определению D при заданных q , $(p_k - p_n)$ и d .

Из уравнения (252) имеем:

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4qd}{p_k - p_n}}. \quad (254)$$

Взяв средние для полужесткого дирижабля величины $d = 0,4$ м, $p_k = 45$ кг/м², $p_n = 30$ кг/м² и $q = 6$ кг/м, получим:

$$D = 0,894 \text{ м} = 894 \text{ мм},$$

т. е. конструктивно удобный размер при достаточном удельном давлении q и малой разности газовых давлений $(p_k - p_n)$, что, как было указано, невозможно осуществить для обычного тарельчатого клапана того же диаметра d .

Из всего изложенного видно, что задача проектирования автоматического газового клапана для дирижабля чрезвычайно осложняется рядом дополнительных условий.

Все выведенные выше формулы применимы и для расчета воздушных клапанов. Задача их проектирования облегчается следующим:

1) давление воздуха в баллонете всегда меньше давления газа на уровне газовых клапанов;

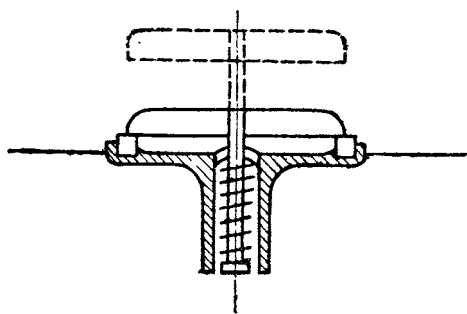
2) обтюрация в воздушных клапанах достигается при меньших значениях q , а так как незначительная утечка воздуха на полетном давлении не представляет опасности для дирижабля, то значение q может быть еще более снижено.

Поэтому воздушные клапаны делаются тарельчатого типа и более простой конструкции, чем газовые.

Неавтоматические газовые клапаны сферических аэростатов и клапаны привязных аэростатов, управляемые посредством вспомогательных механизмов, делаются обычно открываемыми внутрь газового пространства. Газовое давление в этом случае складывается с силой R и прижимает тарелку к седлу. Диаметр такого клапана определяется гидравлическим расчетом, а сила R подбирается из условий получения необходимого q .

§ 3. КИНЕМАТИКА КЛАПАННОГО МЕХАНИЗМА

В предыдущем параграфе клапан рассматривался в закрытом положении и сила R принималась постоянной. Рассмотрим теперь условия равновесия тарелки клапана при различных степенях открытия.



Фиг. 172. Схема тарельчатого клапана с центральной пружиной.

На фиг. 172 показана схема тарельчатого клапана с центральной пружиной, работающей на сжатие. По мере открытия этого клапана сила R , очевидно, непрерывно возрастает от какого-то начального значения R_0 до предельного R_h , отвечающего наибольшему возможному открытию. Чтобы клапан был автоматическим, необходимо соблюдение условия:

$$R_0 = \frac{\pi d^2}{4} p_k.$$

Примем условно, что величина p_k остается постоянной при любой степени открытия клапана. Как было указано выше, сила $R_h > R_0$, и, следовательно,

$$R_h > \frac{\pi d^2}{4} p_k.$$

Поэтому при сверхдавлении в оболочке, равном p_k , тарелка клапана только незначительно приподнимется (уменьшит давление на подушку), но открытия клапана и выпуска газа не произойдет. Сохраняя прежнее допущение, что величина сверхдавления, действующего на тарелку клапана, остается постоянной и равной сверхдавлению в

оболочке при любом открытии клапана, можем написать, что клапан откроется полностью на величину h при некотором сверхдавлении p_h , равном:

$$p_h = \frac{4R_h}{\pi d^2} > p_k.$$

Это сверхдавление p_h и будет действительным сверхдавлением автоматического открытия, а сверхдавление p_k будет определять лишь начало «свиста» клапана.

Сделанное нами допущение о том, что давление p_k на тарелку клапана остается постоянным, несмотря на ее открытие, не верно, так как при истечении газа давление на открытую тарелку p'_k будет меньше p_k .

Отсюда очевидно, что при $p'_k = \frac{4R_h}{\pi d^2}$ давление p_h внутри оболочки может оказаться выше максимально допустимого предела. Это при круто возрастающей зависимости R от h может вызвать разрыв оболочки.

Клапаны с одной пружиной, непосредственно действующей на тарелку, применялись как автоматические на дирижаблях типа Цепелина (например LZ-49), но в этом случае приходилось идти на малое использование площади сечения клапана, т. е. иметь очень малый ход тарелки. Так, например, клапан диаметром около 600 мм имел расчетный ход 18—22 мм, а пружина под нагрузкой 1 кг растягивалась на 26 мм. Таким образом здесь разность $(R_h - R_0)$ составляет менее 1 кг. Малое газовое давление (клапаны помещались в самой нижней части баллонов) позволяло иметь сравнительно низкое удельное давление на нож q . Это дало возможность осуществить клапан небольшого диаметра d .

Для мягких и полужестких дирижаблей клапаны с пружинами, непосредственно притягивающими тарелку, почти не применяются, а в конструкцию вводится специальная кинематическая цепь, имеющая назначением уменьшать действующую на тарелку силу R по мере подъема тарелки. Выясним, какое значение должна иметь сила R_h при полном открытии клапана и каков должен быть общий характер кривой R по h .

От автоматического клапана требуется, чтобы он открывался, когда статическое давление внутри оболочки достигнет установленного значения p_k , и закрывался, когда статическое давление внутри оболочки получит значение

$$p_h < p_k.$$

Но, как было указано выше, давление, действующее на тарелку открытого клапана, меньше статического давления внутри оболочки. Следовательно, можно написать:

$$R_h = \frac{\pi d^2}{4} p'_h = \frac{\pi d^2}{4} \cdot c \cdot p_h. \quad (255)$$

Для клапана с расширительным кольцом будем иметь:

$$R_h = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p'_h = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) c p_h; \quad (256)$$

отсюда очевидно, что для определения R_h нужно знать коэффициент c .

Гидравлика дает следующую формулу, определяющую давление струи обтекающей жидкости на неподвижную поверхность:

$$P = \frac{Q\gamma}{g} v \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1+\xi}} \right), \quad (257)$$

где α — угол отклонения струи,

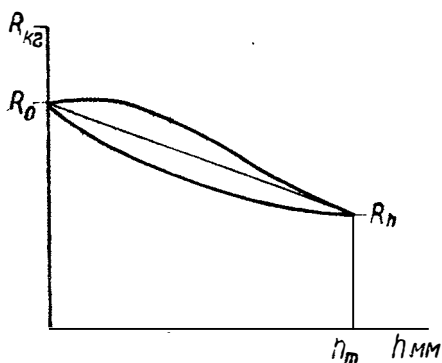
ξ — коэффициент трения газа, выраженный в скоростном напоре.

Подставляя в эту формулу определенные ранее значения Q и v , получаем:

$$P = \frac{\frac{\pi d^2}{4} \cdot k \sqrt{2g \frac{P}{\gamma}} \sqrt{2g \frac{P}{\gamma}} \cdot \gamma}{g} \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1+\xi}} \right) = \frac{\pi d^2 k p}{2} \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1+\xi}} \right). \quad (258)$$

Пренебрегая коэффициентом трения ξ ввиду его малости и беря для диска, имеющего площадь, равную площади отверстия истечения газа, рекомендуемое значение $\alpha = 60^\circ$, получаем:

$$\begin{aligned} P &= \frac{\pi d^2 k p_h}{2} (1 - \cos 60^\circ) = \\ &= \frac{\pi d^2}{4} k p_h. \end{aligned} \quad (259)$$



Фиг. 173. Диаграмма R по h .

Сравнивая полученное выражение с формулой (255), мы видим, что коэффициент $c = k$.

Формула (259) является действительной только для случая плоской пластинки, так как величина угла α меняется в зависимости от конфигурации поверхности, встречаемой струей.

Практически форма тарелки клапана никогда не бывает плоской, а всегда представляет некоторую поверхность вращения. В связи с этим практически коэффициент $c \neq k$. Эта разница будет особенно значительной для клапанов с расширительным кольцом, где характер обтекания более сложен.

Насколько нам известно, определением коэффициента c у нас в СССР не занимались. В литературе также нет никаких указаний о его значениях. Единственное косвенное указание имеется у Вердучио, который рекомендует для клапанов с расширительным кольцом брать R_h в пределах от 0,5 до 0,3 R_0 . По нашему мнению, основанному на данных практики, можно принимать $R_h = 0,3 - 0,4 R_0$ для тарельчатых клапанов и $R_h = 0,5 - 0,6 R_0$ для клапанов с расширительным кольцом.

Наилучшей кривой R по h для механизма клапана в целом можно считать прямую, показанную на фиг. 173. Получить такую зависимость весьма трудно, но во всяком случае нельзя допускать, чтобы кривая в интервале от $h = 0$ до $h = h_{\max}$ имела бы значения, равные или

большие R_0 . Кривая, обращенная выпуклостью вниз, дает лучшие результаты, чем кривая, обращенная выпуклостью кверху.

Некоторые считают, что в начале кривой, в интервале h от 0 до 2—3 мм, желательно иметь постоянную или даже возрастающую силу R , так как в этом случае при повышении давления до p_k клапан не откроется полностью, а начнет свистеть, полное же открытие произойдет при давлении p'_k , несколько большем p_k . По нашему мнению, такой взгляд является ошибочным, так как, с одной стороны, это равносильно выбору большего значения p_k , а с другой — услышать в полете из рубки управления предупреждающий свист клапана невозможно. Кроме того, при небольшом открытии клапан дает малый расход газа, не улавливаемый показаниями манометров и не учитываемый поэтому командиром. При понижении давления посадка клапана на подушку будет неплотной, что повлечет за собой дальнейшую, не замечаемую командиром потерю газа.

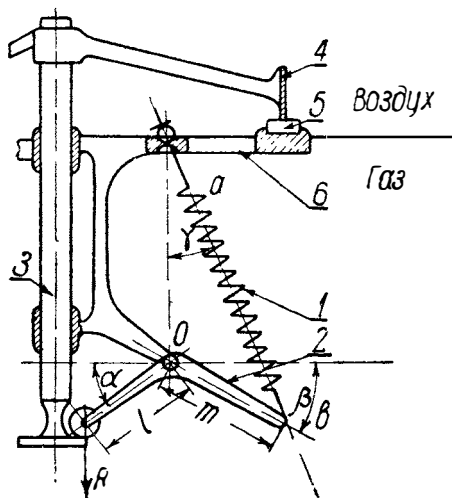
Одним из преимуществ постоянно понижающейся диаграммы R по h является то, что клапан сразу открывается на весь ход тарелки. При закрытии такого клапана натяжение пружины, а следовательно, и ускорение тарелки будут возрастать, и посадка ножа тарелки на подушку будет происходить с резким ударом, обеспечивающим их плотное соприкосновение.

Для получения желаемой диаграммы R по h применяются различные кинематические цепи.

В газовом клапане с расширительным кольцом системы инж. Крокко применялась цепь, показанная на фиг. 174.

Пружина 1, прикрепленная одним своим концом a к неподвижному корпусу 6, другим концом b закрепляется на конце двуплечего рычага 2, стремясь повернуть его против часовой стрелки вокруг оси O , укрепленной на корпусе 6. Второй конец рычага 2, опираясь на площадку центрального штока 3, стремится опустить его вниз и прижать связанный со штоком нож 4 к подушке 5, укрепленной на корпусе 6.

Обозначив натяжение пружины через T , мы из чертежа B фиг. 175 видим, что эта сила вращает рычаг 2 вокруг точки O моментом M_0 , равным



Фиг. 174. Кинематическая схема клапана типа Крокко.

$$M_0 = T \cdot Od = T \cdot m \cdot \cos(\beta + \gamma). \quad (260)$$

На другом конце e рычага 2 этот момент M_0 вызывает силу P , перпендикулярную плечу Oe и равную:

$$P = \frac{M_0}{l} = \frac{T \cdot m \cdot \cos(\beta + \gamma)}{l}. \quad (261)$$

Раскладывая силу P , передающуюся через ролик на площадку C штока 3, на составляющие по штоку 3 и по плечу Oe , мы получим первую составляющую R , равную:

$$R = \frac{P}{\cos \alpha}. \quad (262)$$

Подставляя сюда значение P , получаем следующую зависимость между силами R и T :

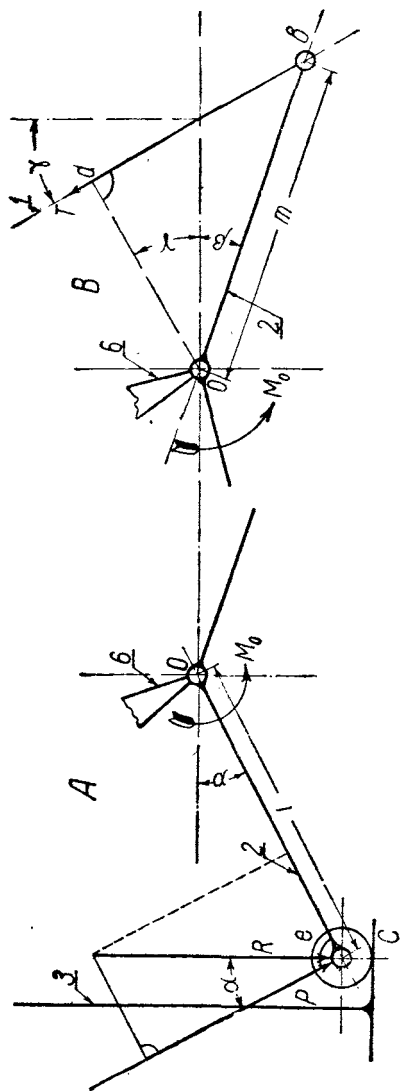
$$R = T \cdot \frac{m}{l} \cdot \frac{\cos(\beta + \gamma)}{\cos \alpha}. \quad (263)$$

По мере поднятия клапана угол γ уменьшается, угол β увеличивается быстрее, чем уменьшается γ , а угол α уменьшается. Следовательно, сумма $(\beta + \gamma)$ медленно увеличивается, а $\cos(\beta + \gamma)$ медленно уменьшается, тогда как $\cos \alpha$ увеличивается.

Таким образом по мере подъема клапана отношение $\frac{\cos(\beta + \gamma)}{\cos \alpha}$ уменьшается, а натяжение пружины T , очевидно, увеличивается. Для получения желаемой диаграммы R по h надо подобрать такие значения l , m , α , β , γ и такую характеристику самой пружины, при которых уменьшение отношения $\frac{m}{l} \cdot \frac{\cos(\beta + \gamma)}{\cos \alpha}$ шло бы быстрее, чем увеличение T .

Графические построения диаграмм R по h для данной схемы

показали, что кривые большей частью обращены выпуклостью вверх, и сила T получается обычно меньше отвечающего ей R . Последнее обстоятельство заставляет брать слабые пружины, что невыгодно, так как сильные пружины более надежны в работе, чем слабые. Недостатком этой схемы является также то, что конструктивно крайне трудно



Фиг. 175. Детали схемы клапана Крокко.

осуществить одновременную регулировку всех трех пружин, имеющих в этом клапане.

Для американских привязных аэростатов применяются автоматические газовые тарельчатые клапаны типа Гамметр 12", имеющие кинематическую схему, показанную на фиг. 176.

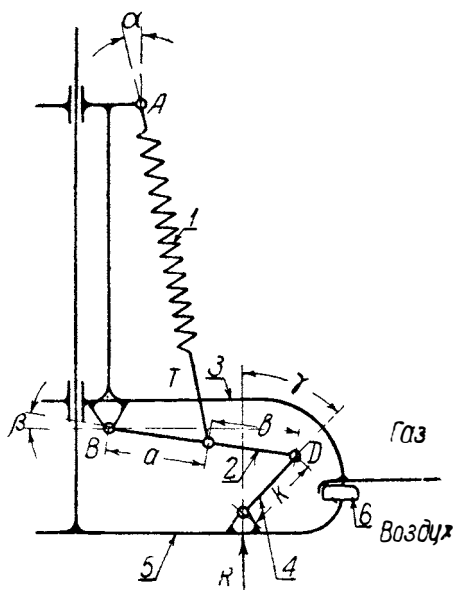
Пружина 1 закрепляется одним концом на выступе корпуса 3 в точке *A*, а другим концом зацеплена за рычаг 2. Рычаг 2 может вращаться вокруг оси *B*, закрепленной на корпусе 3. Точка *D* рычага 2 посредством тяги 4 связана с тарелкой 5. Таким образом пружина притягивает тарелку 5 к подушке 6, укрепленной в корпусе 3.

Пусть натяжение пружины равно T . Тогда, рассуждая подобно изложенному при рассмотрении предыдущего клапана, мы найдем следующую зависимость осевого усилия R от силы T :

$$R = T \frac{a}{a+b} \cdot \frac{\cos(\alpha+\beta)}{\cos(\gamma-\beta)} \cdot \cos \gamma. \quad (264)$$

При открывании клапана угол α сначала уменьшится, затем, перейдя через 0, начинает увеличиваться, причем эти изменения угла α происходят в сравнительно небольших пределах. Угол β увеличивается более значительно, чем изменяется угол α . Следовательно, и $\cos(\alpha+\beta)$ убывает довольно быстро. Угол γ уменьшается, следовательно $\cos(\gamma-\beta)$ будет возрастать сравнительно быстро. Таким образом по мере открытия клапана отношение $\frac{\cos(\alpha+\beta)}{\cos(\gamma-\beta)}$ будет убывать, причем углы могут быть подобраны так, что уменьшение этого отношения будет компенсировать увеличение силы натяжения пружины T . Некоторое возрастание $\cos \gamma$ смягчает компенсацию в начале открытия клапана, при переходе же угла γ через 0 уменьшение $\cos \gamma$ увеличивает компенсацию на больших открытиях клапана. Так же, как и в первом случае, подбор линейных размеров механизма и определение изменений силы R лучше всего производить графически.

Конструкция клапана позволяет производить регулировку как каждой пружины в отдельности, так и всех пружин одновременно. Так как отношение $\frac{a}{a+b}$ всегда меньше единицы и тригонометрическое выражение также меньше единицы, то сила T больше силы R , что является достоинством описываемой системы.

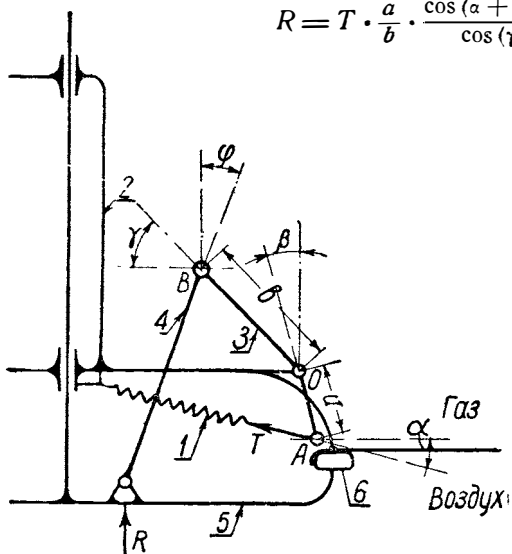


Фиг. 176. Схема клапана Гамметр 12".

Некоторое видоизменение той же кинематической схемы применено в стандартном 18" автоматическом тарельчатом газовом клапане типа Гамметр.

Как видно из фиг. 177, пружина 1 одним концом закреплена на корпусе 2, а другим концом крепится к точке А двуплечего рычага 3, вращающегося вокруг оси О, закрепленной на корпусе 2. В точке В к рычагу 3 присоединяется тяга 4, соединенная с тарелкой клапана 5. Натяжение T пружины 1 стремится вращать рычаг 3 вокруг оси О по часовой стрелке. Следовательно, пружина посредством тяги 4 прижимает тарелку 5 к подушке 6, закрепленной на корпусе 2. Из схемы клапана можно найти, что связь между натяжением пружины T и осевой силой R , действующей на тарелку, определяется следующим выражением:

$$R = T \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{\cos(\alpha + \beta) \cdot \cos \varphi}{\cos(\gamma - \varphi)}. \quad (265)$$



Фиг. 177. Схема клапана Гамметр 18".

При открывании клапана угол α уменьшается, но незначительно. Угол β увеличивается от значения, почти равного нулю, причем это увеличение происходит довольно быстро и на одинаковую величину с уменьшением угла γ . Угол φ уменьшается, но его изменения происходят сравнительно медленно. Таким образом $\cos(\alpha + \beta)$ за счет изменения угла β уменьшается, $\cos(\gamma - \varphi)$ за счет уменьшения угла γ увеличивается, а $\cos \varphi$ вначале увеличивается, а затем, при переходе φ через 0, умень-

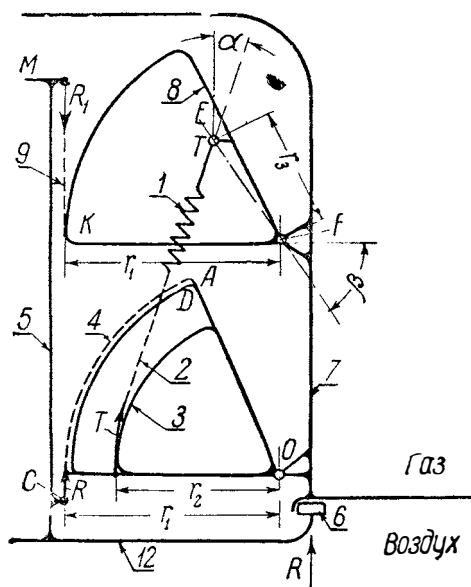
шается, увеличивая степень компенсации на больших открытиях клапана.

По всему сказанному отношение $\frac{\cos(\alpha + \beta) \cdot \cos \varphi}{\cos(\gamma - \varphi)}$ уменьшается сначала медленно, затем более быстро. Так как по конструкции $a < b$, то отношение $\frac{a}{b}$ меньше единицы, так же как и отношение тригонометрических величин, следовательно, и для этого клапана T будет больше R .

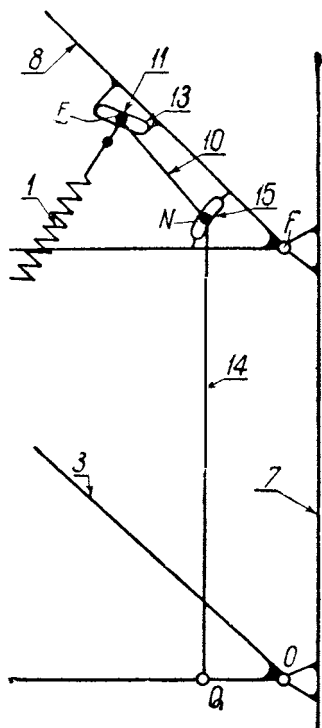
Построения диаграммы R по h для этого клапана не производилось.

Как видно из фиг. 178, схема клапана типа Гудрич значительно сложнее предыдущих клапанов и основана на несколько ином принципе. К пружине 1 в точке А прикреплен трос 2, огибающий сектор 3 и закрепленный на нем. Натяжение пружины T стремится повернуть сектор 3 по часовой стрелке вокруг оси О, укреплен-

ной на корпусе 7. Трос 4, огибающий сектор 3 и закрепленный на нем в точке D , при таком вращении сектора 3 своим концом C стремится поднять шток 5 и прижать связанную со штоком тарелку 12 к подушке 6. Второй конец E пружины 1 укреплен на секторе 8. Своим натяжением T пружина 1 стремится вращать сектор 8 вокруг оси F , укрепленной на корпусе 7, против направления часовой стрелки. От такого вращения сектор 8 удерживается тросом 9, закрепленным на секторе в точке K и на штоке 5 в точке M . При открывании клапана сектор 3 будет вращаться против часовой стрелки, растягивая укрепленным на нем тросом 2 пружину 1. В то же время при опускании штока 5 трос 9 ослабевает, сектор 8 поворачивается и пружина 1



Фиг. 178. Схема клапана Гудрич 20".



Фиг. 179. Детали схемы клапана Гудрич.

несколько сокращается. Этим и достигается уменьшение R по h . Выражение, дающее зависимость между натяжением пружины T и силой R , напишется следующим образом:

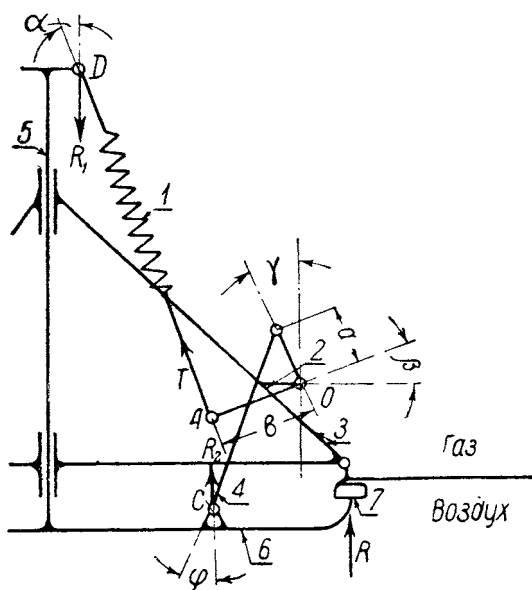
$$R = \frac{T}{r_1} [r_2 - r_3 \cdot \cos(\beta - \alpha)]. \quad (266)$$

При открывании клапана угол α медленно уменьшается, угол β уменьшается довольно быстро, следовательно, $\cos(\beta - \alpha)$ увеличивается, а разность $[r_2 - r_3 \cos(\beta - \alpha)]$ уменьшается и тем самым компенсирует увеличение натяжения T .

На фиг. 179 показаны дополнительные приспособления для изменения степени компенсации. Конiec E пружины не закреплен постоянно

но на секторе 8, а соединен с ползуном 11, передвигающимся в прорезе 13 сектора 8. Ползун 11 посредством тяги 10 связан в точке *N* с тягой 14, шарнирно укрепленной в точке *Q* на секторе 3. Концы *N* тяги 14, связанный с тягой 10, перемещается в круговом прорезе 15 сектора 8. При регулировке клапана путем удлинения штока 5 и повороте сектора 8 расстояние r_3 изменяется, изменяя степень компенсации и предварительного натяжения пружины. Такая система механизма при перемещающихся закреплениях пружины и значительной степени компенсации позволила довести открытие клапана до $\frac{1}{5} d$.

Диаграмма *R* по *h* для данного клапана не строилась. По общей схеме механизма можно сделать предположение, что для клапана



Фиг. 180. Схема клапана типа К.

тягивает посредством тяги 4 тарелку 6 к подушке 7. Второй конец пружины укреплен в точке *D* к штоку 5. Натяжение пружины, передаваясь через шток 5 на соединенную с ним тарелку 6, стремится ее открыть (отжать от подушки 7).

Связь между силой *R* и натяжением пружины *T* определяется выражением:

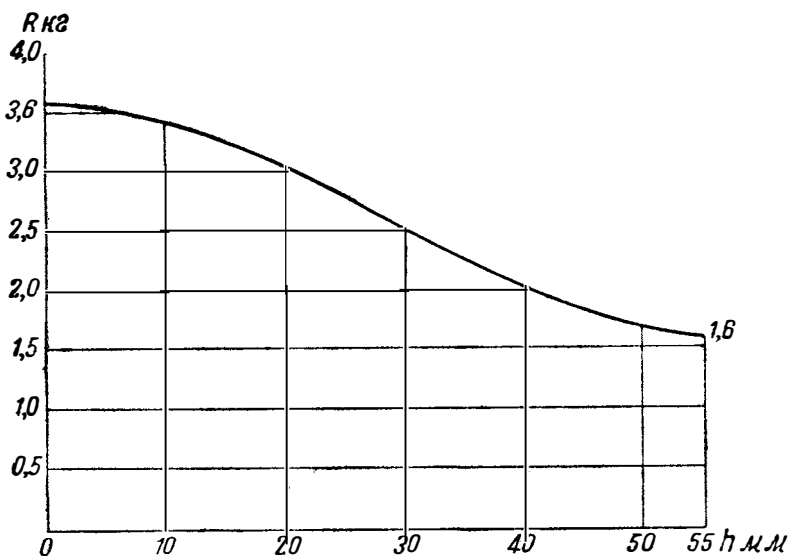
$$R = T \left[\frac{b}{a} \cdot \frac{\cos(\beta - \alpha) \cos \varphi}{\sin(\varphi + \gamma)} - \cos \alpha \right]. \quad (267)$$

При открывании клапана происходят следующие изменения углов: угол α увеличивается сравнительно медленно, следовательно, $\cos \alpha$ уменьшается,

угол β увеличивается на столько же, на сколько увеличивается угол γ ,

угол φ уменьшается, следовательно, $\cos \varphi$ увеличивается.

Разность $(\beta - \alpha)$ увеличивается за счет более быстрого увеличения β , следовательно, $\cos(\beta - \alpha)$ уменьшается. За счет возрастания $(\varphi + \gamma)$ возрастает и $\sin(\varphi + \gamma)$. Все это дает уменьшение величины $\frac{\cos(\beta - \alpha)}{\sin(\varphi + \gamma)}$. Изменения $\cos \varphi$ и $\cos \alpha$ оказывают противоположные и, примерно, равные влияния. Подбирая соответственные углы и отношения плеч a и b , можно получить любой характер диаграммы R по h . Достоинством этой схемы является то, что, во-первых, подобно клапану Гудрич 20" пружина не закреплена неподвижно, а оба ее конца перемещаются при открывании клапана, и, во-вторых, — что сила R является разностью составляющих натяжения T , действующих



Фиг. 181. Диаграмма R по h для клапана типа К-3.

на тарелку и шток. Следовательно, пружина может быть взята более сильной, т. е. более надежной в работе.

На фиг. 181 приведена диаграмма R по h для клапана типа К-3.

Можно было бы привести много примеров тех или иных кинематических схем клапанов, но и приведенных достаточно, чтобы осветить основные принципы кинематической цепи автоматических газовых клапанов.

§ 4. КОНСТРУКЦИИ ТИПОВЫХ ГАЗОВЫХ КЛАПАНОВ

В книге Блекмор и Пэгон «Нежесткие воздушные суда» для оценки клапанов приводится таблица, помещенная здесь на стр. 316.

Эта шкала оценки составлена применительно к тарельчатым клапанам и требует некоторых уточнений. Так, например, вес клапана должен быть отнесен к расходу клапана при некотором стандартном давлении; должно учитываться отношение максимального открытия

к диаметру клапана, как определяющее использование отверстия клапана; понятие автоматического действия клапана должно быть уточнено заданием характера кривой R по h и разностью p_k и p_n ; надо также уточнить пункт, касающийся регулировки клапана, разбив его на два: индивидуальная регулировка каждой пружины и общая регулировка всего клапана.

Таблица XX

Требование	Оценка в очках максимум до	Требование	Оценка в очках максимум до
Прочность, надежность действия	10	Минимум лобового сопротивления клапана	3
Доступность для осмотра, регулировки и исправлений	8	Удобство регулировки открытия клапана	6
Простота и легкость установки и снятия	7	Предупреждение возможности проскакивания искры	3
Малый вес	7	Отсутствие подсоса воздуха в оболочку	3
Простота и дешевизна изготовления, минимальное число отдельных деталей	10	Минимальное число креплений, при помощи которых клапан соединяется с оболочкой	10
Управляемость клапана	7	Приспособления, предохраняющие от попадания материи оболочки в механизм клапана	3
Автоматичность открытия клапана	7		
Малая газопроницаемость при закрытии клапана	7		
Защищенность всех деталей клапана от повреждений	3		

К сожалению, у нас оценочная таблица для клапанов еще не выработана, что затрудняет оценку клапанов различных типов и назначений.

На основании нашей практики конструирования, испытаний и эксплуатации клапанов мы полагали бы целесообразным установить к ним следующие требования.

1. Подвижные детали должны иметь минимальный вес для уменьшения влияния инерционных перегрузок. В противном случае может потребоваться динамически уравнивать подвижные части, как это делалось в некоторых клапанах дирижаблей Цепелина.

2. Все движущиеся детали механизма должны работать с минимальным трением.

3. Движение штока и тарелки относительно плоскости подушки должно совершаться без малейших перекосов, так как в противном случае возможны заедания и неплотное прилегание тарелки к подушке, вызывающее свист клапана.

4. Конструкции ножа тарелки и гнезда для подушки в корпусе клапана должны допускать обработку с высокой степенью точности. Применение выдавленных или выколотченных деталей не дает хороших результатов.

5. Конструкция деталей клапана должна предусматривать возможность их изготовления с помощью приспособлений, обеспечивающих полную взаимозаменяемость деталей без всяких подгонок.

6. В клапанах с расширительным кольцом должна иметься возможность снимать весь механизм, не снимая клапана с оболочки. При этом конструкция должна допускать снятие и замену механизма в полете.

Все эти требования должны особенно строго применяться к автоматическим газовым клапанам полужестких дирижаблей. Для мягких дирижаблей и привязных и сферических аэростатов эти требования, конечно, могут соответственно снижаться.

Для сферических и привязных аэростатов часто применяется неавтоматический тарельчатый газовый клапан типа Како, показанный на фиг. 182. Этот клапан открывается внутрь оболочки посредством веревки 1, прикрепленной к тарелке 2. Корпус 3 этого клапана сделан из склеенного в несколько слоев дерева и для газонепроницаемости обклеен сверху прорезиненной материей. Вместо резиновой подушки в выточку на корпусе вкладывается кольцо из тонкой резины, прикрепляющееся двумя кольцевыми металлическими накладками, притянутыми шурупами к корпусу. Тарелка, опирающаяся на резиновое кольцо, изготавливается из дуралюмина или из оцинкованного или никелированного железа толщиной 1—2 мм. Тарелка притягивается к каркасу посредством четырех расположенных по кругу шарнирных механизмов 4. Пружины 5 одним концом присоединены к рычагам механизма, а другим зацеплены за общее кольцо 6, лежащее на вершине пирамиды. Механизм дает некоторое уменьшение силы R при открытии клапана. Ни индивидуальной, ни общей регулировки пружин эта конструкция не предусматривает, так как отсутствие автоматического действия не требует точной регулировки натяжения пружин.

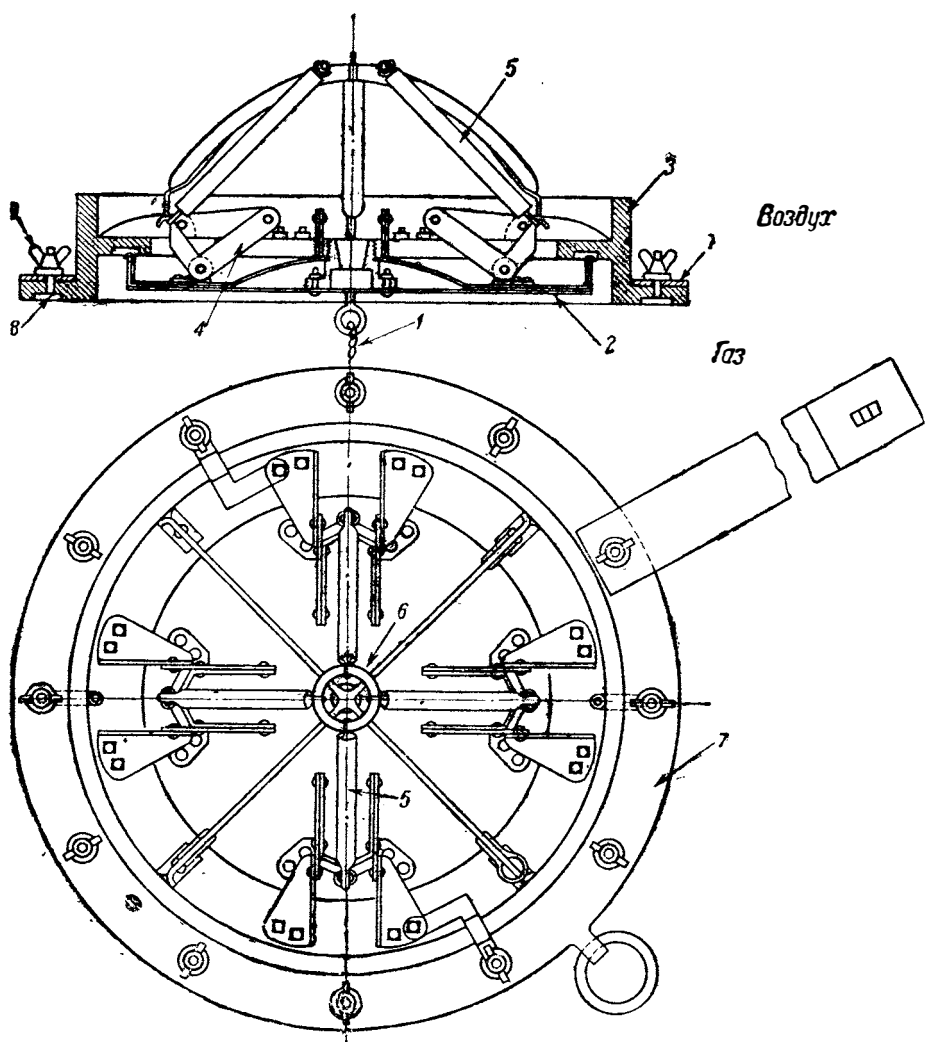
К оболочке этот клапан крепится посредством металлического зажимного кольца 7, между которым и корпусом клапана закладывается материя оболочки. Зажимное кольцо стягивается с корпусом клапана посредством двенадцати болтов 8 с барашками 9. Так как корпус клапана сделан из дерева и рычаги механизма прикреплены к тарелке на резиновых прокладках, то для предотвращения электрических разрядов все металлические части тщательно соединены между собой специальными проводниками.

Конструкция клапана проста в изготовлении и эксплуатации. Диаметр тарелки 470 мм. Наибольшее открытие 42 мм. Отношение

$\frac{d}{h} = 11,2$. Вес клапана около 6 кг.

Кроме клапана Како, американцы применяют для привязных аэростатов и дирижаблей кубатурой до 1400 м³ Гамметр 12" (фиг. 183), кинематическая схема которого была разобрана выше.

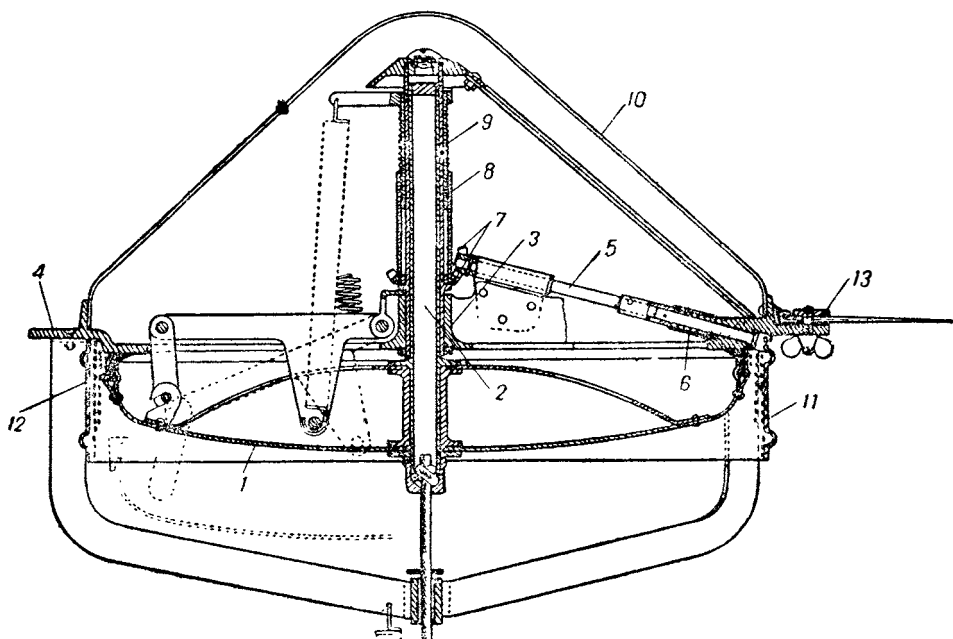
Клапан целиком металлический с литым и точеным корпусом 4. Тарелка 1 изготовлена из листового дуралюмина, имеет для жесткости внутреннее усиление и закреплена на центральном штоке 2, скользящем в трубке 3, прикрепленной к корпусу 4. Шток обеспечивает правильность движения тарелки и ее посадки. Обтюрация достигается прижатием к гладкой поверхности корпуса резинового кольца 12,



Фиг. 182. Клапан типа Како.

закрепленного на тарелке. Индивидуальная регулировка пружин не предусмотрена. Для общей регулировки имеется приспособление, состоящее из стержня 5, проходящего сквозь сальник 6, двух конических шестеренок 7 и двух трубок 8 и 9, соединенных винтовой резьбой. При вращении стержня 5 шестеренки 7 заставляют вращаться трубку 8, опирающуюся на корпус. При этом трубка 9 перемещается вдоль трубы 3 и изменяет этим натяжение пружин.

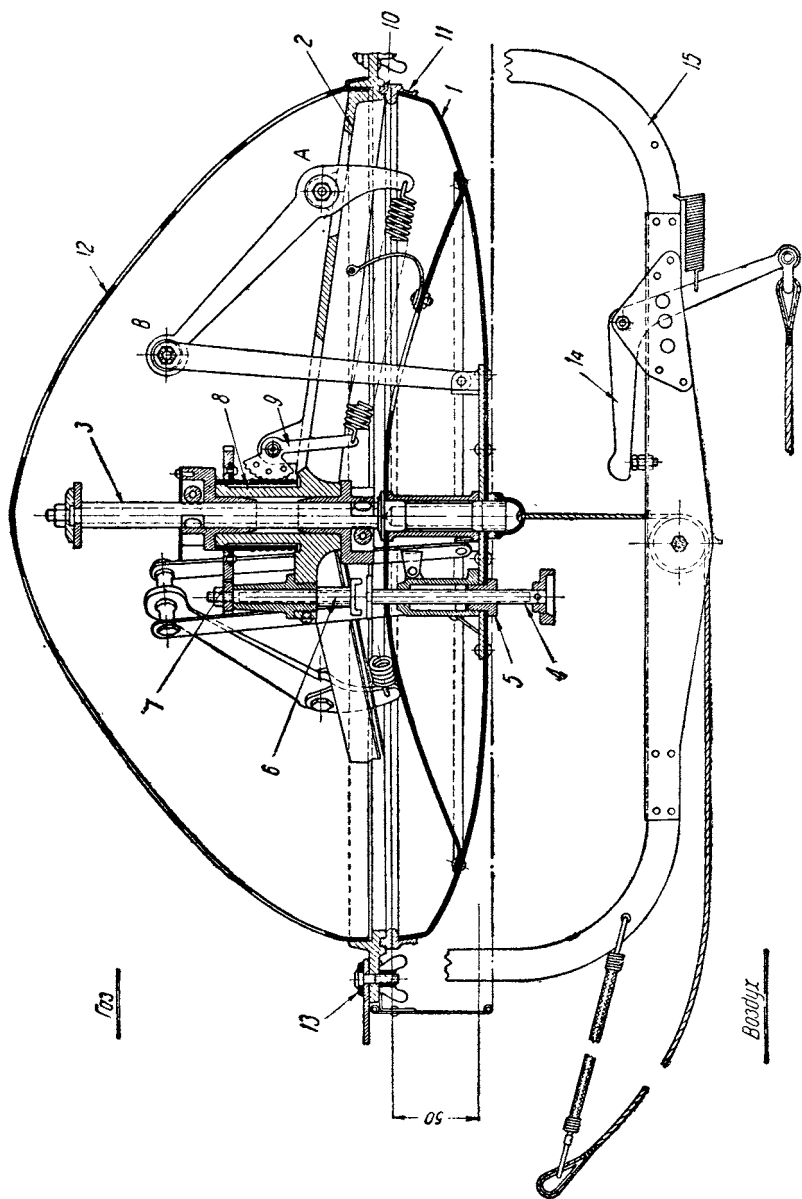
Трение в механизме значительно, так как все подшипники скольжения. Особенно значительно трение штока в направляющей трубе 3. В изготовлении клапан довольно сложен, особенно литой и механически обрабатываемый корпус и механизм для регулировки. Весь



Фиг. 183. Клапан Гамметр 12"-

клапан как изнутри, так и снаружи хорошо защищен колпаком 10 с отверстиями и наружным кольцом 11 с рифтом и отверстиями. Крепление к оболочке осуществляется обычным зажимным кольцом 13 с барашками, несколько неудачно расположенными внутри оболочки. Диаметр тарелки клапана по резиновому кольцу — 298 мм. Открытие — 75 мм, живое сечение — $0,07 \text{ м}^2$. Внешний диаметр клапана — 409 мм. Полная высота в закрытом виде — 320 мм. Вес полный, включая веревку 14 длиной 20 м, — 5,45 кг. При сверхдавлении 50,8 мм (2") вод. ст. расход клапана по водороду составляет $3,92 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Стандартным клапаном для американских мягких дирижаблей является цельнометаллический клапан тарельчатого типа Гудиир 18". Кинематическая схема этого клапана была разобрана выше. На фиг. 184 показана его конструкция.



Фиг. 184. Клапан Гулиир 18".

Корпус клапана изготовлен из алюминиевой отливки и обработан механически. Тарелка 1 из листового дуралюмина усилена изнутри дуралюминовой выколоткой. Три одинаковых кинематических механизма, расположенных через 120° , закреплены на спицах 2 корпуса. Тарелка закреплена на центральном штоке 3, который перемещается в двух направляющих, укрепленных в центральном приливе корпуса. Каждая направляющая имеет три ролика, между которыми скользит шток 3. Две основные А и В оси вращения каждого механизма смонтированы на шариковых подшипниках, чем вместе с роликовыми направляющими штока, достигается минимальное трение механизма. Индивидуальная регулировка пружин не предусмотрена. Для общей регулировки клапана имеется механизм, состоящий из стержня 4, проходящего сквозь сальник 5, укрепленный на тарелке. При закрытом клапане стержень 4 сцепляется со стержнем 6, укрепленным на центральном приливе корпуса. Этот стержень посредством зубчатой передачи 7 вращает трубу 8 с червячной нарезкой. За червячную нарезку зацепляются сектора 9, к хвостам которых прикреплены концы пружин. Обтюрация достигается посредством сплошной резиновой прикладки 10, заделанной в «ласточкин хвост» корпуса, и резинового кольца 11, надетого на нож тарелки.

Весь механизм клапана предохраняется от повреждений и попаданий в него оболочки колпаком 12 из листового дуралюмина с отверстиями для прохода газа. Зажимное кольцо 13 для крепления клапана к оболочке расположено под кольцом корпуса, что по нашему мнению неудобно. Следует обратить внимание на коленчатый рычаг 14, укрепленный на наружной дужке 15 клапана и служащий для «насиленного» закрывания клапана. Это требует двойной проводки для управления клапаном вручную.

В производственном отношении изготовление этого клапана, в особенности литого и сложно обработанного корпуса и механизма для регулировки (зубчатки, винтовая резьба, сальники, зубчатые секторы и т. д.), сложно и дорого.

При диаметре тарелки клапана 18" максимальное открытие равно 2".

Отношение $\frac{d}{h} = 9$, т. е. невелико. Вес клапана 7,264 кг.

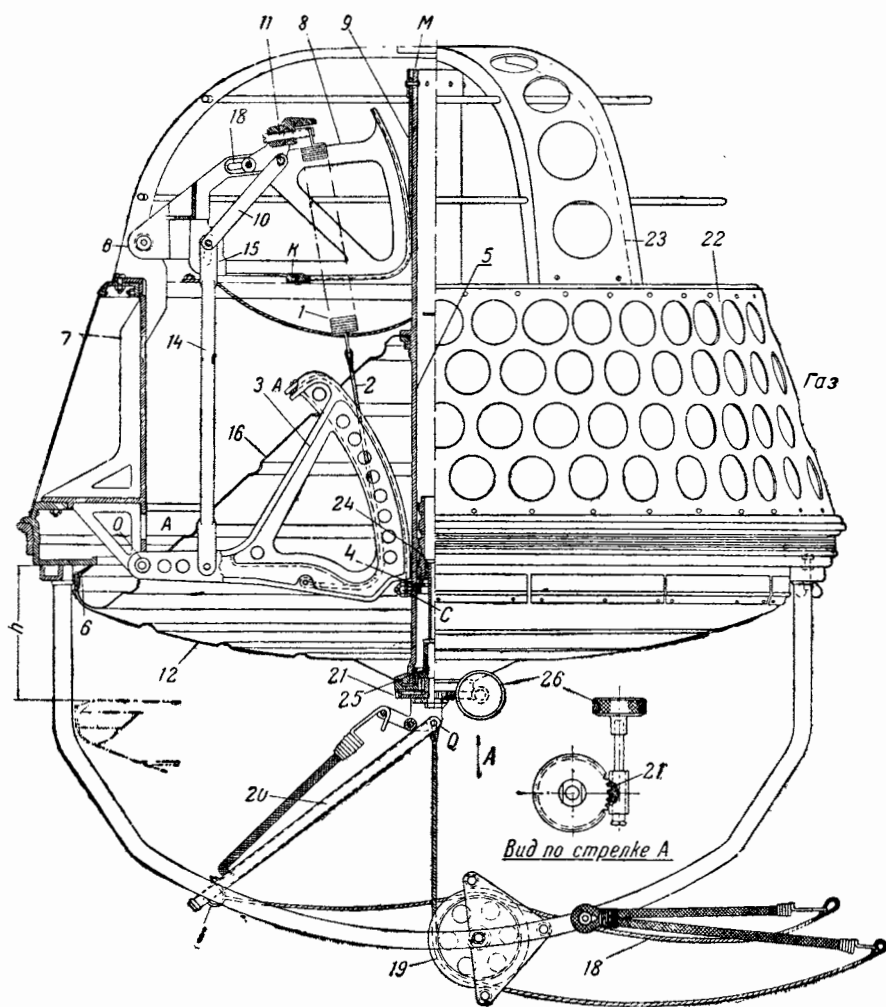
При сверхдавлении 38 мм вод. ст. ($1\frac{1}{2}$ "") нормальный расход клапана по водороду при открытии 20 мм составляет $1,23 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Для полужесткого американского дирижабля RS-1 был принят показанный на фиг. 185 клапан типа Гудрич 20".

Сильно выпуклая с многочисленными рифтами тарелка 12, изготовленная из листового дуралюмина и усиленная изнутри выколоткой 16, закреплена на центральном штоке 5.

Направляющими центрального штока являются шесть секторов 3 и 8 кинематического механизма, вращающихся на осях О и В, закрепленных на корпусе 7. Этим достигается малое трение при движении клапана и, следовательно, его высокая чувствительность при автоматическом открытии. Повышение давления на 2,5 мм вод. ст. производит полное автоматическое открытие клапана в любом его положении.

Секторы 3 и 8 механизма связаны со штоком 5 посредством тросов 4 и 9, что на наш взгляд не представляет удачной конструкции. Ме-



Фиг. 185. Клапан Гудрич 20".

ханизм для регулировки натяжения пружин довольно сложен и состоит из червячной передачи 21, сальника 25 и трубки 24 с внутренней ленточной резьбой. Вращая рукоятку 26, заставляем посредством червячной передачи 21 вращаться трубку 24 и тем самым перемещаем вдоль оси штока 5 крепление с троса 4. Это перемещение крепления с вызывает поворот в том или другом направлении сектора 3 и, следовательно, изменение натяжения пружины 1. Индивидуальная регулировка пружин не предусматривается. Крепление пружин на нарезном вывинчивающемся стержне 11 позволяет изменять степень компенсации. От случайных повреждений и попадания оболочки механизм защищен дефлектором 22 с отверстиями и тремя верхними дугами 23. Обтюрация тарелки достигается тем же способом, что и в клапане Гудира. Так же, как в клапане Гудира 18", имеется приспособление для принудительного закрывания клапана.

Натягивая трос 18, поворачиваем рычаг 20, вращающийся вокруг точки *O*, на тарелке 12. При этом рычаг 20 подойдет к ролику 19 и натяжение троса будет стремиться закрыть клапан.

В производстве клапан сложен и дорог, так как требуется безукоризненная точность изготовления и установки верхних и нижних секторов, малейшее отклонение которых от заданных размеров вызовет заедание клапана. Применение тросов 2, 4 и 9 для передачи натяжения пружины на нижний сектор 3 и для соединения верхнего и нижнего секторов со штоком тарелки требует высокой точности заплетки и неудобно из-за быстрого износа тросов в эксплуатации.

Следует обратить внимание на то, что клапан устанавливается на оболочке без зажимного кольца, а просто приклеивается своим воротником к материи оболочки. Этим достигается выигрыш в весе, но надежность такого соединения и удобство его в эксплуатации представляются для нас сомнительными.

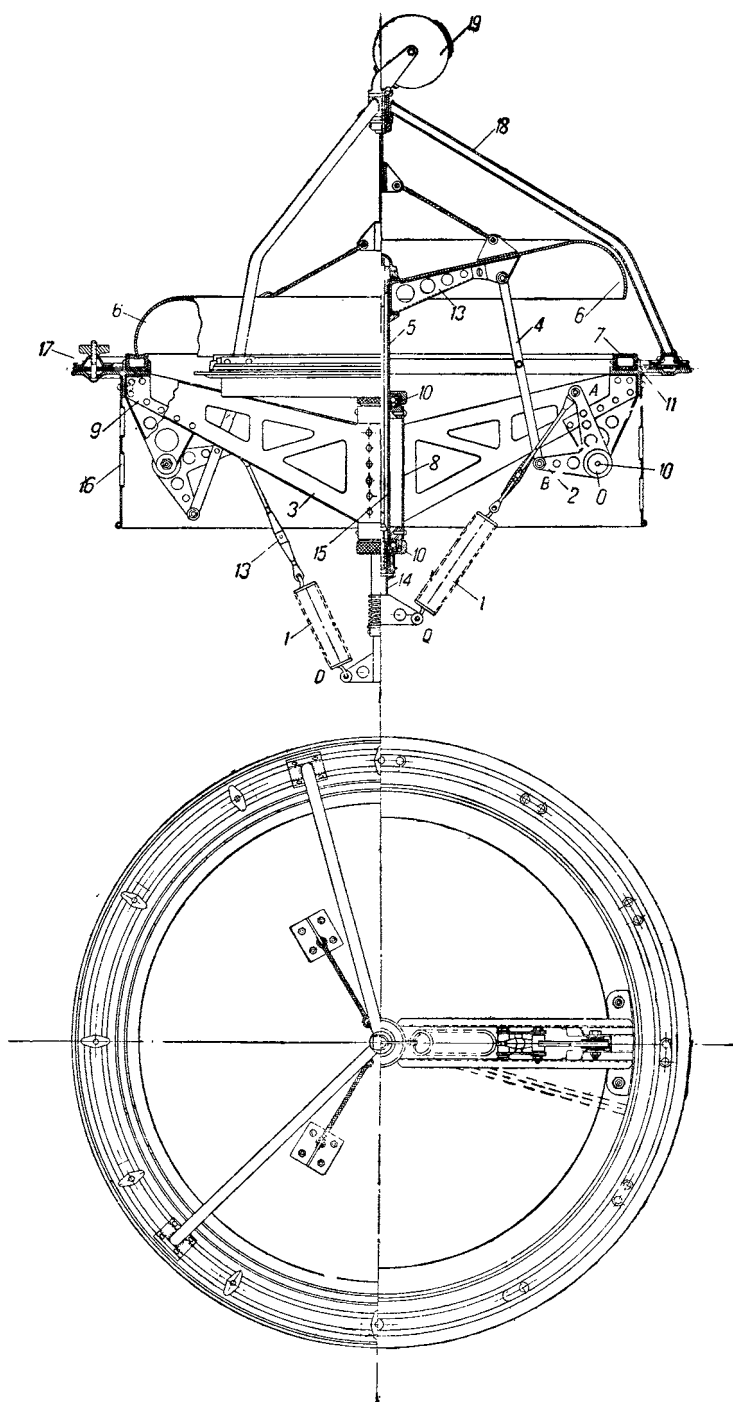
При диаметре тарелки клапана 508 мм максимальное открытие составляет 102 мм. Отношение $\frac{d}{h} = 5$, т. е. очень высоко.

Изготовленный из алюминия клапан весит 9,55 кг, изготовленный с применением магниевых сплавов — 8,00 кг.

Нормально отрегулированный механизм дает диаграмму *R* по *h* в виде прямой, параллельной оси *h*. При открытии в 14 мм и сверхдавлении 38 мм вод. ст. расход клапана по водороду составляет 2,36 м³/сек.

Для мягких дирижаблей СССР-В2, СССР-В3 и СССР-В5 автором настоящего труда была разработана конструкция автоматического тарельчатого клапана, имеющего разобранную выше кинематическую схему. В своем окончательном конструктивном выполнении клапан К-3 изображен на фиг. 186.

Тарелка 6, изготовленная из 1,5-мм листового дуралюмина, скреплена с центральным штоком 5 посредством верхнего паука 13, сваренного из тонкой листовой стали. Нож тарелки опирается на обтюрирующую резиновую подушку 7, укрепленную в выточке корпуса 11. Корпус 11 простого, жесткого сечения, выточен из алюминиевой отливки. Центральный шток перемещается в двух шариковых направляющих 10, закрепленных в гнездах центральной дуралюминовой трубки 8. Центральная трубка 8 жестко связана с корпусом посредством трех



Фиг 186 Клапан типа К-3.

ребер 3, изготовленных из 1-мм листового дуралюмина. Соединение ребер с корпусом производится с помощью стальных сварных коробочек 9, причем сборка, производящаяся в простом приспособлении, обеспечивает необходимую точность установки центральной трубки. Стальные коробочки, соединяющие корпус с ребром, служат опорой для оси 10 коленчатого рычага 2. Этот рычаг, как имеющий максимальное угловое перемещение, смонтирован на шариковом подшипнике. Остальные соединения механизма имеют бронзовые втулки.

Для индивидуальной регулировки каждой пружины 1 имеются тандеры 13. Общая регулировка клапана, изменяющая степень компенсации, производится путем перемещения нижней трубки 14 центрального штока посредством поворачивания нарезного штока 15.

Для предохранения механизма клапана от попадания в него гармошки на корпус одевается кольцо с отверстиями 16 из листового (0,5-мм) алюминия.

Монтаж клапана на оболочку производится посредством наружного зажимного кольца 17, несущего на себе треногу 18 с ориентирующим роликом 19, через который перекинут трос ручного управления клапаном. Приспособления для насильственного закрывания клапана не предусмотрено, так как при надлежащем изготовлении и уходе механизм не должен отказывать.

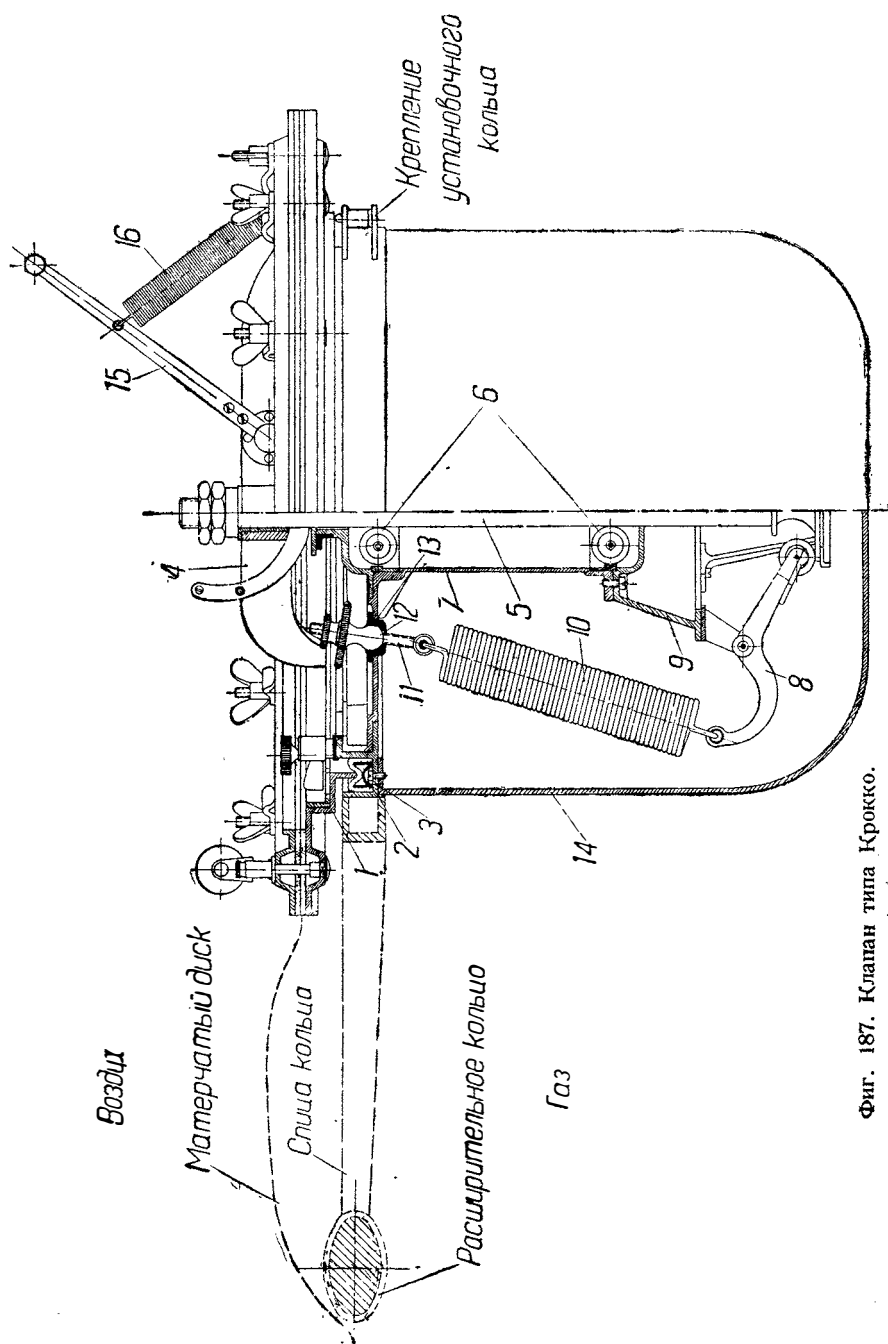
В производстве клапан сравнительно прост, и мастерские Дирижаблестроя, не имеющие специального оборудования, вполне удовлетворительно выполняли клапаны этого типа.

Диаметр тарелки клапана — 420 мм. Максимальное открытие — 55 мм. Отношение $\frac{d}{h} = \frac{420}{55} = 7,65$. Расход клапана по водороду при сверхдавлении 45 мм вод. ст. равен $3,85 \text{ м}^3/\text{сек}$. При лабораторном испытании подобного клапана К-1 при 20 мм вод. ст. воздушного давления коэффициент k оказался равен 0,65. Вес клапана — 5,5 кг.

Для полужестких дирижаблей в СССР применяются исключительно газовые клапаны с расширительным кольцом, дающие более четкую автоматическую работу клапана на меньших значениях ($p_k - p_n$). При конструировании клапанов с расширительными кольцами надо обращать особое внимание на простоту и удобство снятия механизма клапана без выпуска газа из оболочки и без применения газонепроницаемых мешков. Это требование вызывается тем, что клапаны с расширительными кольцами ввиду значительных размеров кольца не всегда монтируются на гармошке, а устанавливаются непосредственно на самой оболочке. Длительность же полета большого дирижабля может потребовать осмотра или даже ремонта клапана в полете.

Классическим типом итальянского клапана для полужестких дирижаблей является клапан типа Крокко, изображенный на фиг. 187.

Кольцевой нож 1 клапана, выточенный из алюминия, опирается на обтюрирующую резиновую подушку 2, заложенную в проточку основного алюминиевого кольца 3. Посредством треноги 4 из фрезерованной отливки нож соединяется с центральным штоком 5. Центральный шток движется в роликовых направляющих 6, установленных в выточках трубки корпуса 7, отлитой из алюминия. Снизу шток заканчивается точеной площадкой, на которую опираются



Фиг. 187. Клапан типа Крокко.

ролики двуплечих рычагов 8. Рычаги вращаются в подшипниках, установленных на кольцевой раме 9, прикрепленной к низу трубки корпуса. Кольцевая рамка изготовлена из профрезерованной отливки. Пружины 10 механизма зацепляются одним концом за рычаги 8, другим концом за ухо натяжного болта 11. Гайки 12 натяжных болтов своим полусферическим основанием опираются в выточки опорных деталей 13, укрепленных на корпусе. Весь механизм заключен в газонепроницаемый колпак 14, выдавленный из листового (0,5-мм) алюминия и привинченный мелкими шурупами к основному кольцу. Для принудительного открывания клапана служит изогнутый рычаг 15, опирающийся своей дугой на крышку верхней направляющей. Ось рычага укреплена на одном ребре верхней треноги. Для обратного вытягивания троса рычаг снабжен пружиной 16.

Весь механизм клапана устанавливается своим основным кольцом во внутренний обод установочного кольца. Установочное кольцо состоит из внутреннего обода, точеного из алюминия, внешнего обода — трубчатого или деревянного и соединяющих их наподобие велосипедного колеса проволочных спиц. Для соединения основного кольца и внутреннего обода шлицы последнего заводятся в вырезы основного кольца. При повороте корпуса эти шлицы входят в выточки наружной боковой поверхности основного кольца. Внешний обод установочного кольца приштаповывается к поясу с люверсами, приклеенному к оболочке. Матерчатый диск установки зажимается на кольцевом ноже 1 посредством обычного зажимного кольца болтами с барашками. Сверху на матерчатый диск накладывается усилительное кольцо, изготовленное помощью сварки из тонких стальных трубок. Это кольцо зажимается шайбами барашков зажимного кольца.

Действие этого клапана происходит следующим образом. Газ, проходящий сквозь спицы установочного кольца, изолирован от внешней атмосферы матерчатым диском, кольцевым ножом, основным кольцом и колпаком механизма. Сверхдавление газа на матерчатый диск передается ножу через усилительное кольцо и стремится открыть клапан. Когда это усилие окажется больше усилия от пружин, прижимающих кольцевой нож к резиновой подушке, нож приподнимается и газ начинает уходить в образующееся цилиндрическое отверстие.

Постоянно закрепленными на оболочке частями клапана являются установочное кольцо, основное кольцо с резиновой подушкой и металлическим колпаком и кольцевой нож с зажатым на нем матерчатым диском.

Весь механизм клапана может быть вынут без потери газа и каких-либо приспособлений. Верхняя тренога соединяется с кольцевым ножом посредством трех болтов с накатанными головками. Для закрепления кольцевого ножа в закрытом состоянии имеются три зажима. Закрепив нож в закрытом положении и освободив треногу, нужно поворачивать корпус механизма до тех пор, пока шлицы диска корпуса не выйдут из пазов основного кольца. После этого весь механизм свободно вынимается кверху. В собранном состоянии корпус удерживается от вращения в основном кольце посредством стопора.

Регулировка клапана производится посредством индивидуального подтягивания пружин гайками натяжных болтов. Благодаря при-

менению роликовых направляющих и роликов на рычагах, а также большой тщательности изготовления, механизм клапана работает с минимальным трением.

С производственной стороны, несмотря на сравнительную простоту отдельных деталей, изготовление клапана требует точной механической обработки, почему стоимость его довольно велика.

Кинематика механизма клапана разбиралась выше. На дирижабле «Норвегия» эти клапаны были отрегулированы так, что при 34—35 мм вод. ст. начинался свист клапанов, при 37—38 мм вод. ст. клапаны открывались полностью и закрывались при 32—33 мм вод. ст. Эти данные подтверждают наше заключение о трудности получить хорошую диаграмму R по h для данной схемы клапана.

Диаметр ножа этих клапанов равен 300 мм. Вес с полной установкой — около 9 кг. Ход клапана 35—40 мм. Пропускная способность этого клапана в литературе не указана. На дирижабле объемом 18 500 м³ было установлено 20 клапанов.

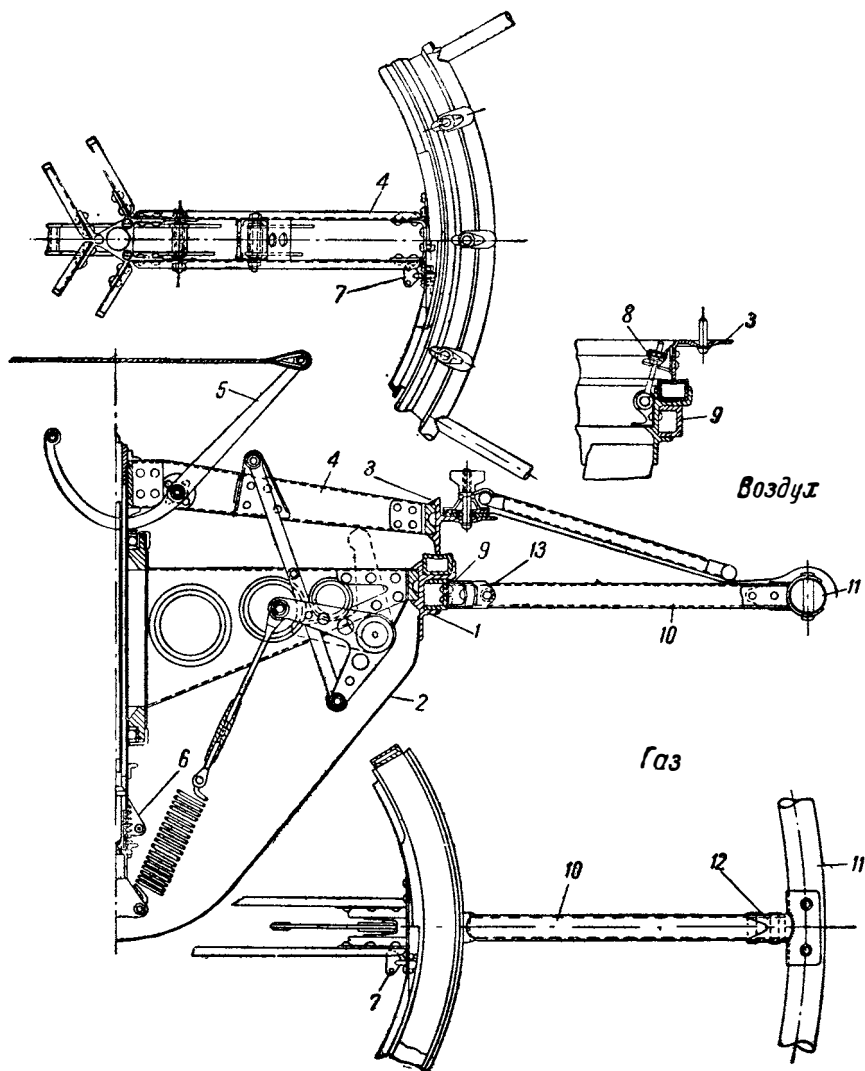
Для дирижабля СССР-В7 автором настоящей работы был разработан клапан с расширительным кольцом. Этот клапан, получивший обозначение К-4, спроектирован с использованием схемы и значительного числа деталей от клапана тарельчатого типа К-3.

Как видно из фиг. 188, все детали механизма клапана К-3 сохранены в клапане К-4. Изменена конфигурация основного кольца 1, тоже литого и точеного из алюминия. К основному кольцу 1 прикрепляется давлёный из листового (0,5-мм) алюминия колпак 2, изолирующий механизм от газа. Тарелка из листового металла клапана К-3 заменена точеным из алюминиевой отливки кольцевым ножом 3. Кольцевой нож соединяется с центральным штоком посредством верхнего паука 4 из дуралюминовых пластинок. Для принудительного открытия клапана, так же как в клапане типа Крокко, применяется рычаг 5 с дугой. Общая регулировка клапана и индивидуальная регулировка пружин производится, как в клапане К-3. Пружина 6, одетая снизу на центральный шток, служит для корректирования давления автоматического закрывания и для смягчения ударов при открывании клапана от руки.

Для удобства и простоты снятия механизма, соединения верхнего паука с кольцевым ножом и корпуса — с основным кольцом осуществляются посредством круговых шлиц, входящих в соответственные пазы. Каждая шлица и паз занимают около 40° по окружности, а свободные промежутки — по 80°. Для предохранения от самопроизвольного поворачивания на одной шлице паука и на одной шлице корпуса имеется по стопорному винту 7. При вынимании механизма кольцевой нож удерживается в закрытом состоянии посредством трех винтовых зажимов 8.

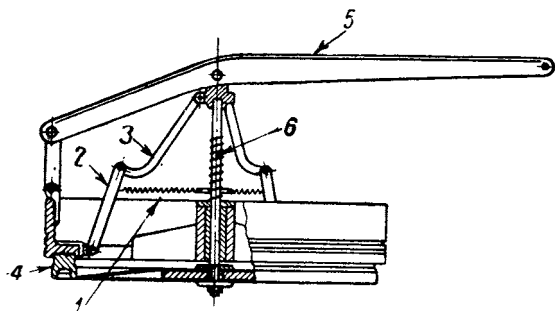
Установочное кольцо соединяется с основным кольцом также посредством шлиц и пазов. Само установочное кольцо имеет внутренний обод 9, точеный из алюминиевой отливки, спицы 10 и внешний обод 11 (из дуралюминовых труб), соединенные на стальных стаканах 12 и 13.

В производственном отношении клапан довольно прост, но требует точной механической обработки.



Фиг. 188. Клапан типа К-4.

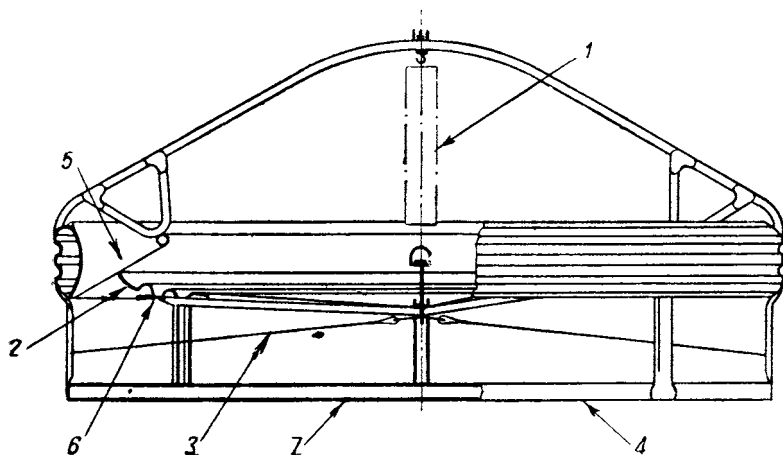
Диаметр ножа — 420 мм. Ход клапана — 55 мм: $\frac{d}{h} = 7,64$. Высота полная — 540 мм. Диаметр установочного кольца — 905 мм. Вес полный с установочным и усилительным кольцами — 6,6 кг. Теоретическая пропускная способность клапана по водороду при сверхдавлении 40 мм вод. ст. равна 3,1 м³/сек.



Фиг. 189. Клапан первого дирижабля Цеппелина.

Клапаны первых жестких дирижаблей отличались простотой своей конструкции. Клапан первого дирижабля Цеппелин, изображенный на фиг. 189, является одновременно маневренным и автоматическим. Клапан этот — тарельчатого типа. Три пружины

1 посредством демультипликационных механизмов, состоящих из двух шарнирно связанных рычагов 2 и 3, прижимают тарелку 4 к подушке и дают автоматичность действия клапана. Управляемое открытие клапана производится посредством рычага 5, опирающегося на центральный шток. Пружина 6, свободно надетая на этот шток, начинает сжиматься только



Фиг. 190. Клапан военного Цеппелина.

при больших открытиях клапана, а при автоматическом открытии клапана не работает. Корпус и тарелка клапана выполнены из клееного дерева. Так как направляющие центрального штока и все шарниры механизма имеют скользящие подшипники, то значительной чувствительности от такого механизма ожидать нельзя.

Автоматический клапан дирижаблей Цеппелин военного времени (с LZ-100 по LZ-114) имел более чувствительную конструкцию. Этот клапан (фиг. 190) принадлежит к тарельчатым клапанам с цен-

тральной пружиной 1, работающей на растяжение. Тарелка 2 не имеет направляющего штока, а ее правильная посадка обеспечивается четырьмя тросами 3, закрепленными на корпусе 4 клапана и подходящими под острыми углами к центру тарелки, где все они соединяются вместе. Чувствительность клапана достигается, как это было указано выше, очень эластичной пружиной 1. Надежность obtyрации достигается тем, что «свободно плавающая» тарелка опирается своей кромкой на коническую резиновую диафрагму 5. Клапан очень легкий. Тарелка выдавлена из листового дуралюмина и усилена круговыми рифтами 6. Корпус клапана сделан из листового дуралюмина и дуралюминовых труб 7. Приспособления для регулировки пружины нет.

Очень оригинальной является схема и конструкция автоматического газового клапана английского дирижабля R-101. Описание и чертежи этого клапана можно найти в книге Н. В. Лебедева «Дирижабли».

§ 5. КОНСТРУКЦИЯ ВОЗДУШНЫХ КЛАПАНОВ

Конструирование воздушных клапанов проще конструирования газовых вследствие более низких требований к автоматическому действию и к obtyрации. Но, с другой стороны, здесь возникает необходимость уменьшения высоты механизма, входящего внутрь оболочки, чтобы выкладываемый баллонет не рвался этим механизмом. Это требование особенно трудно выполнить для воздушных клапанов мягких дирижаблей, так как при помещении снаружи оболочки механизм клапана находится во встречном потоке и не защищен от атмосферных воздействий.

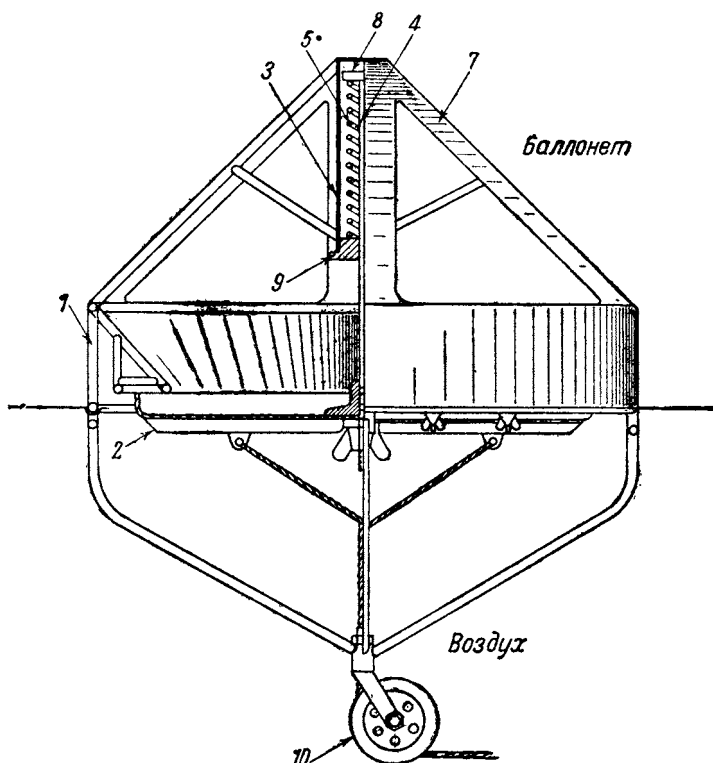
В советской и иностранной литературе нет описаний конструкций воздушных клапанов для мягких дирижаблей. Работа над воздушными клапанами для советских мягких дирижаблей также не дала еще желательных результатов.

Изображенный на фиг. 191 воздушный клапан для мягких дирижаблей В-2 и В-3 имеет корпус 1, сваренный из стальных трубок, обтянутый прорезиненной материей. Тарелка сделана давленной из листового дуралюмина и усилена четырьмя крестообразно наложенными профилями. В центральной трубке 3 движется шток 4 с пробкой 8 на конце. На эту пробку и крышку 9 трубки, играющую роль сальника, опирается пружина 5, регулировка которой производится барашком, опирающимся на тарелку и навинчивающимся на шток. Нижняя тренога служит для установки ролика 10, по которому движется трос, служащий для открывания клапана вручную. Клапан не автоматический, так как имеет сильную пружину, непосредственно притягивающую тарелку. Крупным конструктивным дефектом является то, что корпус, сваренный из труб, не может быть сделан с необходимой для получения obtyрации точностью. Кроме того, он легко деформируется в эксплуатации. Для предохранения баллонета от повреждений внутренняя тренога обтягивается плотной материей 7.

Воздушные клапаны полужестких дирижаблей по своему назначению разделяются на впускные и выпускные. Конструирование воздушных клапанов полужестких дирижаблей упрощается тем, что на-

тяжение подбаллонетного полотнища значительно меньше натяжения оболочки мягкого дирижабля, а также тем, что клапаны, помещаемые внутри кия, защищены от встречного потока и атмосферных воздействий.

Выпускной воздушный клапан итальянского типа (фиг. 192) состоит из легкого каркаса 1 из стальных труб, обтянутого лакированной материей. Тарелка 2 имеет обод из стальной трубы 3, также обтянутой лакированной материей. Обтюрация достигается прижатием ма-

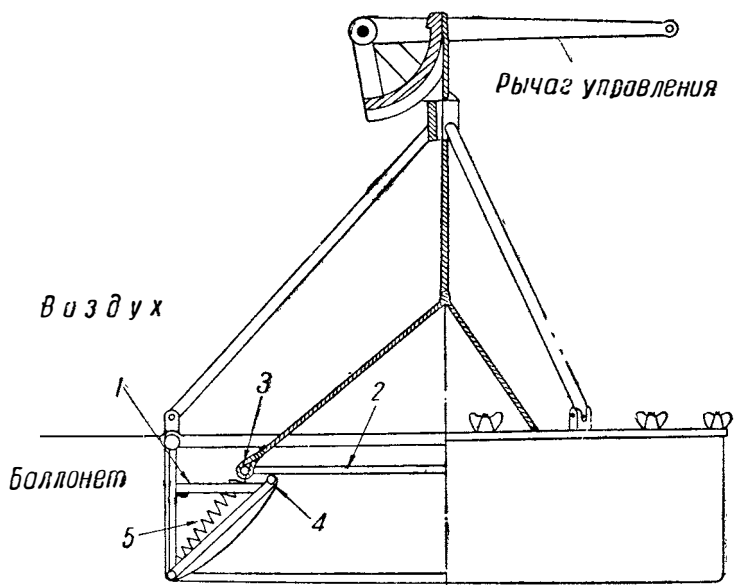


Фиг. 191. Воздушный клапан дирижабля ДМ-2.

терии обтяжки тарелки к трубе 4 корпуса. Тарелка прижимается восемью пружинами 5, расположенными по ее периметру и закрепленными на трубках корпуса. Никаких приспособлений для регулировки пружин не имеется. Недостатком этого клапана является отсутствие автоматического действия и очень плохая обтюрация.

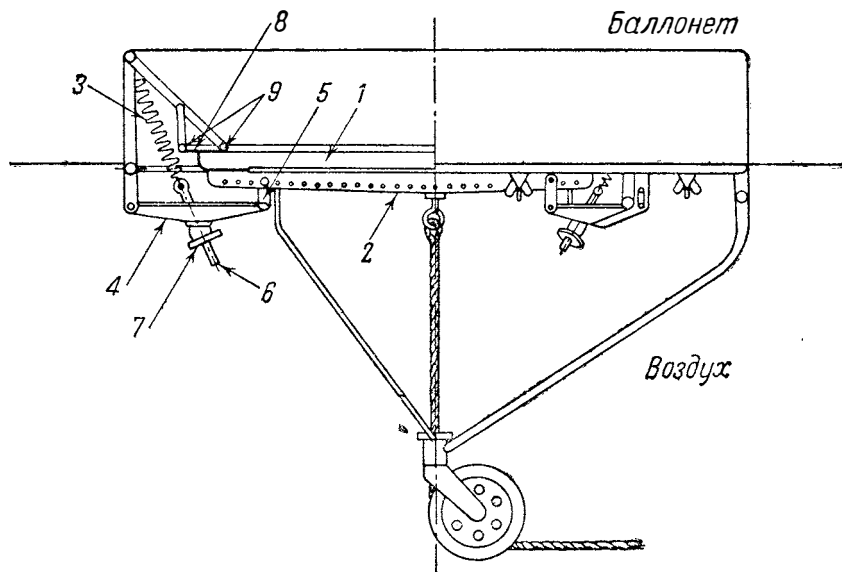
Некоторые усовершенствования этого клапана были сделаны при проектировании клапанов для дирижабля ВУК-1 (фиг. 193). Трубчатый обод тарелки заменен выколотченным дуралюминовым ободом 1, нижний проточенный край которого является обтюрирующей частью—ножом тарелки. Кроме того, тарелка усилена тремя ребрами 2 из листового дуралюмина. Пружины 3 связаны с тарелкой посредством трех

двухрычажных механизмов с рычагами 4 и 5. Эти механизмы не обеспечивают полного автоматического действия клапана, но все-таки дают



Фиг. 192. Выпускной воздушный клапан.

некоторое уменьшение силы R при его открытии. Для регулирования натяжения каждая пружина снабжена нарезным стержнем 6 и гай-

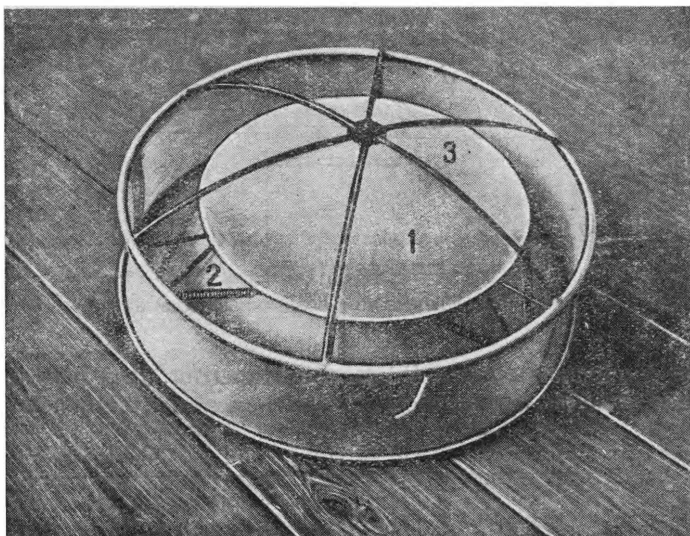


Фиг. 193. Воздушный клапан дирижабля ВУК-1.

кой 7 со сферическим основанием. Опорной поверхностью для ножа является прорезиненная материя 8, натянутая на два кольца 9 корпуса. Так как тарелка является свободно плавающей, без центрального направляющего штока, то при некоторых перекосах опорной поверхности обтюрация продолжает оставаться удовлетворительной.

Полужесткие дирижабли при большом числе отсеков баллонета имеют один общий воздухопровод. Поэтому на его вводах в отсеки необходимо ставить обратные клапаны, пропускающие воздух в баллонет, но не допускающие его обратного выхода.

На фиг. 194 показан впускной обратный клапан итальянского типа. Корпус клапана сделан сварным из стальных труб и обтянут лакированной материей. Тарелка 1 имеет обруч из стальной трубы и



Фиг. 194. Впускной клапан.

также обтянута лакированной материей. Пружины 2 размещены по периметру тарелки. Вообще вся конструкция этого клапана та же, что в выпускных клапанах, но без механизма для открывания. Видные на фотографии дуги 3 служат для предохранения клапана от попадания в него материи баллонета. Обтюрация, получающаяся в этих клапанах, мало удовлетворительна.

§ 6. РАСПОЛОЖЕНИЕ И УСТАНОВКА КЛАПАНОВ

Газовые клапаны мягких дирижаблей обычно располагаются на экваторе оболочки, вблизи ее центра объема. Такое расположение принято по следующим причинам:

1) расположенный на экваторе клапан будет находиться под достаточным сверхдавлением, и выходящая струя газа не может попасть на моторы;

2) клапан, расположенный на экваторе, удобно обслуживать в эллинге с лестниц;

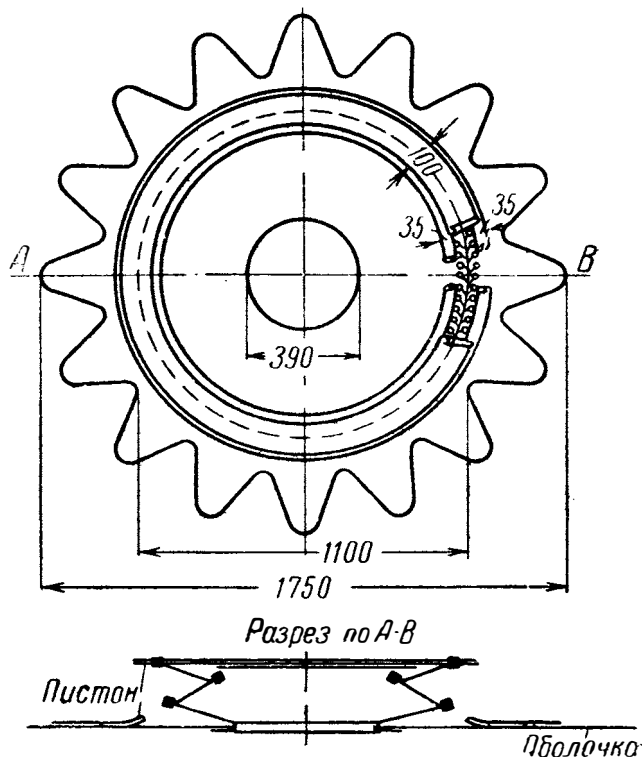
3) клапаны, расположенные вблизи центра объема, будут испытывать меньшие колебания сверхдавления при кренах дирижабля.

Число клапанов должно отвечать объему оболочки. Если оболочка разделена на отсеки диафрагмами, то число клапанов в каждом отсеке должно соответствовать объему этого отсека.

Чтобы иметь возможность снимать клапаны для ремонта и осмотра и ставить их обратно, они устанавливаются не непосредственно на оболочку, а помощью так называемой гармошки (фиг. 195). В рабочем положении гармошка сложена и плотно прижата к оболочке шпаловкой внешнего кольца. Для снятия клапана распускают шпаловку и освобождают гармошку. Перекрутив и плотно перевязав гармошку у ее основания, изолируют клапан от газового пространства и снимают его.

При конструировании клапанной установки необходимо обращать особое внимание на усиление прорезанного в оболочке отверстия.

Газовые клапаны полужестких дирижаблей устанавливаются обычно в верхней части оболочки, так как все полужесткие дирижабли имеют тот или иной выход на оболочку, почему осмотр так расположенных клапанов может производиться даже в полете. Сверхдавление у клапана и расход газа в этом случае больше, чем при клапанах, расположенных на экваторе. На итальянских дирижаблях, а также на дирижабле СССР-В6 клапаны устанавливались на оболочку до газонаполнения, и без особых приспособлений можно было производить снятие лишь механизма, но не всего клапана. Такая установка клапана неудобна в эксплуатации, почему клапаны полужесткого дирижабля ВУК-1 (СССР-В7) установлены на гармошках. Чтобы предо-



Фиг. 195. Клапанная гармошка.

хранить механизм клапанов, расположенных на спине оболочки, от атмосферных воздействий и улучшить их аэродинамические свойства, над ними устанавливаются обтекатели, состоящие из каркаса, обтянутого лакированной материей.

Воздушные клапаны мягких дирижаблей располагаются обычно в нижней части оболочки, так как сверхдавление в баллонете постоянно по высоте, а обслуживание клапана и проводка к нему тросов управления при его установке внизу гораздо удобнее. Воздушные клапаны устанавливаются на усиления оболочки без всяких гармошек, так как снятие их в эллинге может производиться и при баллонетах, наполненных воздухом.

Воздушные клапаны полужестких дирижаблей устанавливаются внутри килевой фермы на подбаллонетном полотнище. Так как подбаллонетное полотнище испытывает малые натяжения, то усиление для установки воздушных клапанов делается из шпагата диаметром 3 мм, забортованного двухслойной лентой в края отверстия оболочки.

§ 7. РАСЧЕТ И КОНСТРУКЦИЯ ВОЗДУХОПРОВОДА

Все дирижабли, имеющие баллонеты, должны иметь приспособления, обеспечивающие подачу в баллонеты воздуха в количестве и под давлением, необходимыми для обеспечения безопасного полета данного дирижабля. Это особенно важно для мягких дирижаблей, для которых, как это было показано в разделе V, падение сверхдавления может привести к складыванию оболочки и, следовательно, к аварии.

Необходимое сверхдавление в баллонете определяется по нормальному полетному сверхдавлению с учетом максимального превышения потолка баллонета над горизонталью, проходящей через нижнюю точку миделя, т. е.

$$p'_6 = p_n + H\phi, \quad (268)$$

где H — превышение потолка баллонета над низом миделя при полном выполнении баллонета.

Чтобы компенсировать вес потолка баллонета и иметь некоторый избыток давления, к сверхдавлению, определенному по формуле (268), следует прибавить некоторую постоянную величину, обычно принимаемую равной 5 кг/м²:

$$p_6 = p'_6 + c = p_n + H\phi + 5. \quad (269)$$

Количество воздуха, которое необходимо подать в баллонет, определяется, в зависимости от объема судна и вертикальной скорости его снижения, по формуле, аналогичной той, которая служит для определения необходимого расхода газа через клапаны:

$$Q = \frac{U_r \cdot w}{8000}.$$

Для расчета воздухопроводов вертикальную скорость w берут обычно равной 4—5 м/сек, т. е. меньшей скорости подъема, принятой для определения расхода через клапаны. При больших (7—10 м/сек)

скоростях снижения все элементы системы воздухопитания оказываются чересчур громоздкими и тяжелыми. Практически же скорость спуска 4—5 м/сек оказывается вполне достаточной.

Системы воздухопитания по роду питающего устройства могут выполняться по двум схемам:

1) с использованием скоростного напора встречного потока воздуха при полете дирижабля под действием тяги винтов;

2) с принудительным питанием, т. е. с использованием какой-либо специальной моторно-вентиляторной группы.

Иногда встречаются виды воздухопитания, соединяющие в себе обе основные схемы, причем моторно-вентиляторная группа в этих случаях обычно является резервной.

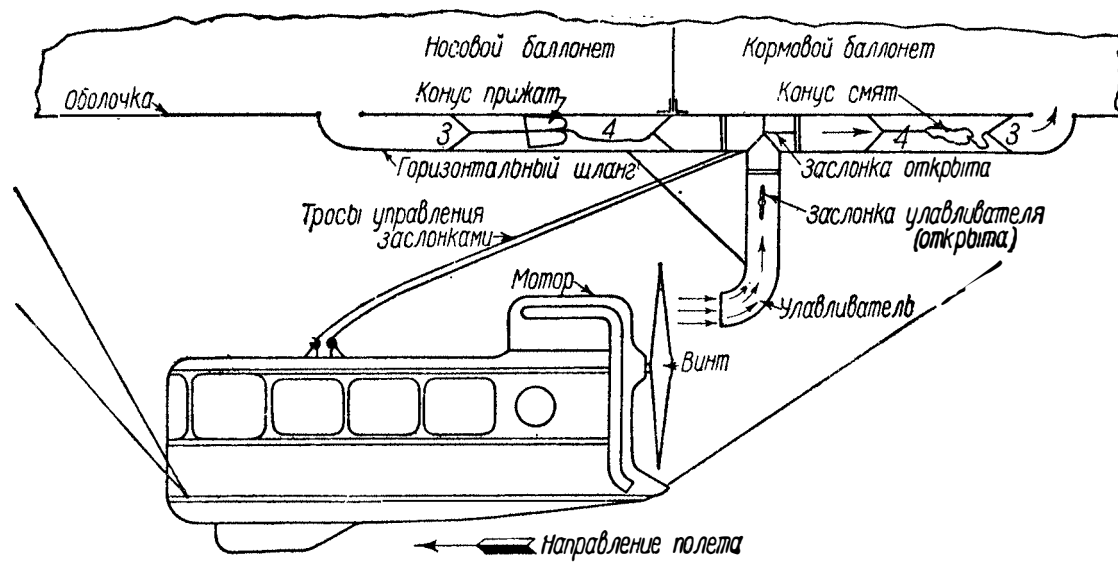
Воздухопитание мягких дирижаблей по первой схеме состоит из следующих отдельных элементов: одного или двух воздухоулавливателей (по числу моторов), распределительной коробки, распределительного шланга и обратных клапанов. Схема такого воздухопитания изображена на фиг. 196.

В этом случае, как видно из чертежа, для питания системы используется скорость струи, отбрасываемой винтом, которая, как известно, больше скорости встречного потока.

Воздухоулавливатель представляет металлический или матерчатый каркасированный патрубок с отверстием, лежащим за винтом в плоскости, параллельной плоскости его вращения. Изображенный на данной схеме улавливатель расположен перпендикулярно к оси оболочки, а его нижний конец, плавно загнутый на 90°, образует улавливающее отверстие. Верхний конец шланга улавливателя присоединяется к распределительной коробке, укрепленной на оболочке. Посредством распределительной коробки пилот может направлять воздух в один или несколько баллонетов. Так как у мягких дирижаблей обычно бывает два баллонета, то распределительная коробка представляет собой тройник, к вертикальному колену которого присоединяется шланг улавливателя, а к двум другим коленам — шланги, идущие к баллонетам. Эти колена перекрываются заслонками, открывая которые порознь или обе вместе, можно подавать воздух в один или оба баллонета. Заслонки имеют тяги управления, выведенные в пилотскую рубку.

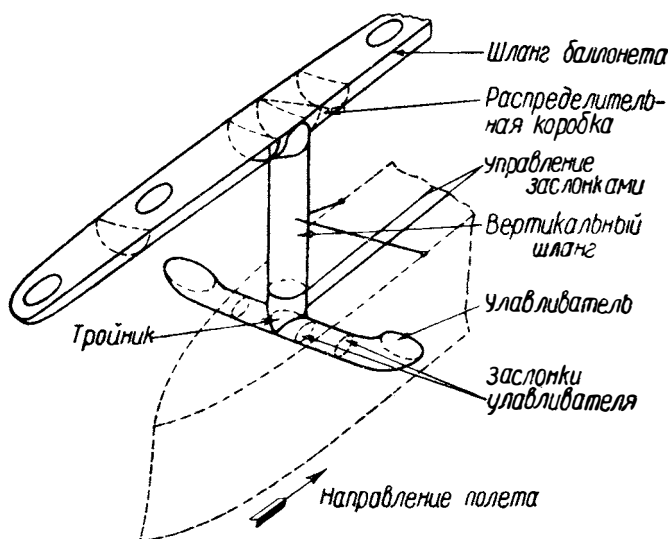
Горизонтальный распределительный шланг, сделанный из материи и наклеенный на оболочку, служит для подачи воздуха в баллонет с более или менее равномерным его распределением по длине баллонета. Так как заслонки распределительной коробки трудно сделать герметическими, то в распределительном шланге устанавливаются обратные клапаны, препятствующие выходу воздуха из баллонета. На приведенной схеме эти обратные клапаны сделаны в виде матерчатых конусов, привязанных к веревкам 3 и 4 и прижимаемых к стенкам шланга давлением воздуха в баллонете (левая сторона чертежа).

При полете с закрытыми заслонками распределительной коробки давление на них достигает больших значений, и заслонки пропускают воздух в баллонеты. Для устранения этого в шланге улавливателя ставится дополнительная заслонка.



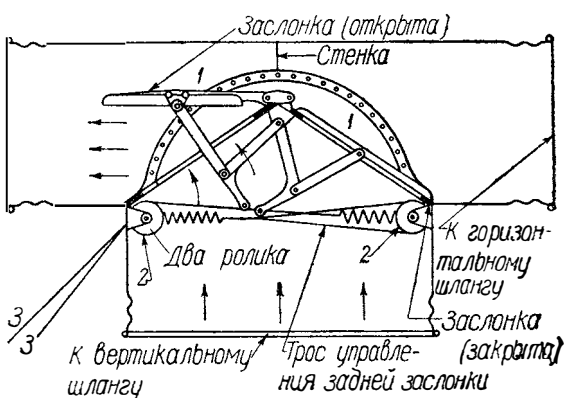
Фиг. 196. Система воздухопитания дирижабля.

При двух моторах в гондоле улавливатели в виде дуралюминовых раструбов (фиг. 197) устанавливаются почти горизонтально на гондоле за винтами. Раструбы сходятся на общий тройник, укрепленный на



Фиг. 197. Система воздухоулавливателей дирижабля СССР-В2.

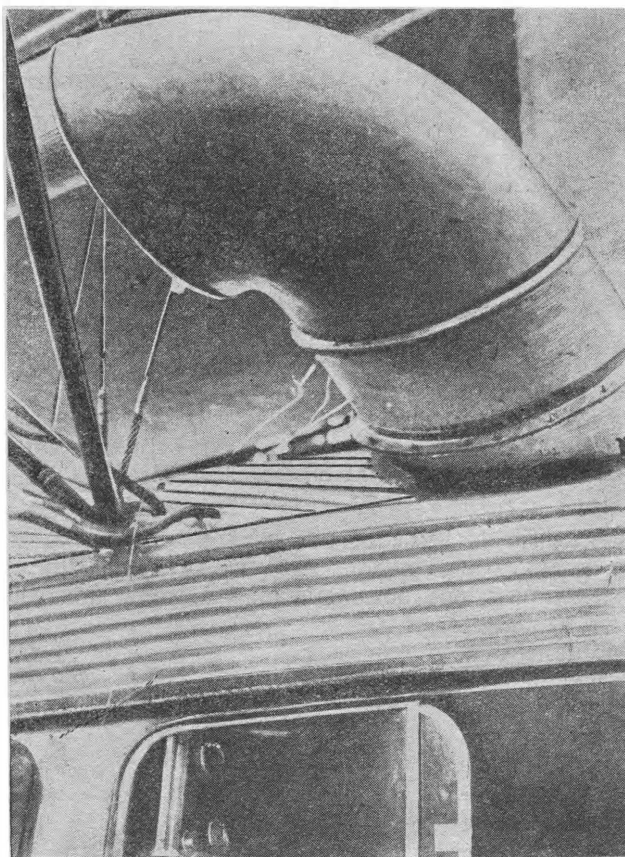
крыше гондолы. Чтобы уменьшить давление в распределительной коробке в то время, когда подача воздуха не производится, и чтобы подавать воздух при одном остановленном моторе, каждый улавливатель имеет дроссельную заслонку, поставленную в тройнике и управляемую из пилотской рубки. От вершины тройника к оболочке идет матерчатый шланг, каркасированный изнутри стальной проволокой и расчаленный к крыше гондолы. Верхний конец этого шланга присоединен к патрубку распределительной коробки, укрепленной непосредственно на оболочке.



Фиг. 198. Распределительная коробка.

На фиг. 198 показана распределительная коробка дирижаблей СССР-В2 и СССР-В3 с двумя створками 1, притянутыми пружинами к корпусу коробки. Открывание этих створок производится из рубки управления посредством тросовых тяг 3.

От распределительной коробки (фиг. 198) идут два шланга в носовой и кормовой баллонеты. Шланги сделаны из прорезиненной материи, имеют полукруглое сечение и приклеены непосредственно к оболочке. В оболочке под каждым шлангом сделано два отверстия для впуска воздуха в носовую и кормовую части каждого баллонета. Так как заслонки распределительной коробки обладают достаточной



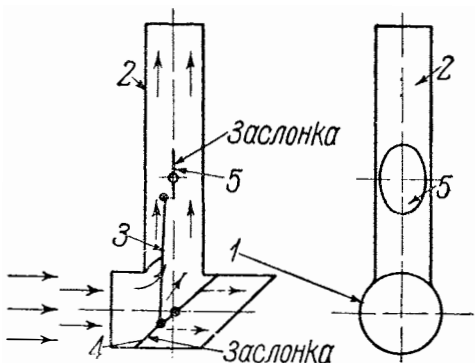
Фиг. 199. Улавливатель дирижабля СССР-В2.

герметичностью, то никаких обратных клапанов на шланге не установлено.

Основным недостатком улавливателей, показанных на фиг. 199, является их большое лобовое сопротивление, особенно при закрытых заслонках.

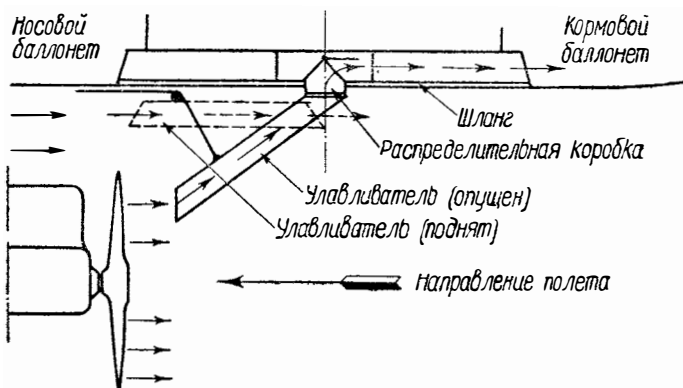
Для полужесткого дирижабля ВУК-1 была применена оригинальная конструкция улавливателей, также расположенных непосредственно за винтами (фиг. 200). Патрубок-улавливатель 1 с осью, направленной вдоль потока, прикреплен к вертикальному патрубку 2,

имеющему эллиптическое сечение. Оба эти патрубка склепаны из тонкого листового дуралюмина. Внутри каждого патрубка имеется по дроссельной заслонке, причем посредством жесткой тяги 3 эти заслонки связаны между собой. В рабочем положении заслонка улавливателя 4, становясь под углом 45° к его оси, закрывает сечение улавливателя и направляет поток воздуха в вертикальный патрубок, заслонка которого 5 в это время повернута вдоль оси патрубка и свободно пропускает поток в общий распределительный воздухопровод. В нерабочем положении заслонка улавливателя ставится вдоль его оси и свободно пропускает поток, а верхняя заслонка полностью перекрывает сечение вертикального патрубка. Таким образом лобовое сопротивление улавливателя в нерабочем состоянии значительно уменьшается, так как патрубок-улавливатель оказывает сопротивление лишь контуром своего сечения.



Фиг. 200. Схема улавливателя дирижабля ВУК-1.

В американских двухмоторных мягких дирижаблях I-1 для каждого мотора имеется своя система воздухопитания (фиг. 201), со-

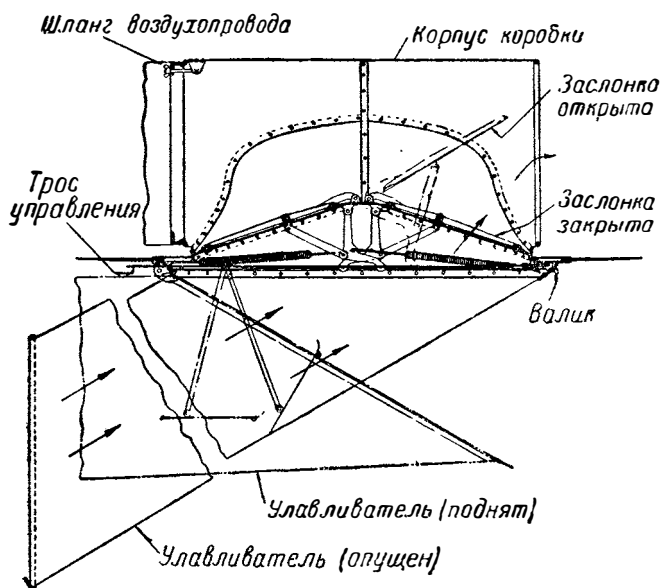


Фиг. 201. Воздухопитание дирижабля I-1.

стоящая из металлического патрубка-улавливателя, распределительной коробки и матерчатого шланга-воздухопровода. Улавливатель шарнирно соединен с корпусом распределительной коробки. В рабочем положении улавливатель опускается вперед под углом 45° , прижимаясь своим верхним срезом к патрубку распределительной коробки, а нижним срезом захватывает встречный поток и направляет его в распределительную коробку. В нерабочем состоянии патрубок

подтягивается тросом к самой оболочке (пунктир) и дает минимальное сопротивление.

Детали устройства патрубка и коробки видны на фиг. 202.



Фиг. 202. Улавливатель и распределительная коробка дирижабля I-1.

Расположение отверстия улавливателя относительно винта должно определяться экспериментальным путем, но есть основание предполагать, что наилучшие результаты дает следующее расположение: плоскость среза улавливателя должна располагаться на расстоянии



Фиг. 203. Схема воздухопровода дирижабля N-1.

радиуса винта от плоскости его вращения, а центр отверстия улавливателя должен находиться на одной трети радиуса винта, считая от кромки лопасти.

Итальянские полужесткие дирижабли имели систему воздухопровода, питающегося от улавливателя, расположенного в самой носовой точке судна (фиг. 203). От этого улавливателя вдоль и изнутри киля идут один или два матерчатых шланга, распределяющих воздух

по отсекам баллонета. Шланги сделаны из легкой однослойной прорезиненной или лакированной материи. Так как от носовых улавливателей трудно добиться герметичности, то на вводах воздухопровода в баллонет ставятся обратные клапаны. При большой длине судна и, следовательно, значительных гидравлических потерях в шлангах наполнение кормовых отсеков баллонета будет происходить медленнее, чем носовых. Для устранения этого воздухопровод разделяют на два шланга, один из которых имеет вводы во все отсеки баллонета, а другой только в кормовые.

При улавливателях от мотора воздух поступает в шланг на середине его длины, почему подача воздуха по отсекам баллонета происходит более равномерно. Вообще можно считать, что воздухопитание от моторных улавливателей более рационально, чем от носового. При полете с углом атаки $8-10^\circ$ точка максимального аэродинамического давления смещается с оси судна и подача воздуха носовым улавливателем резко уменьшается. Уменьшению подачи способствует еще торможение потока пирамидой носового причального приспособления, расположенной перед улавливателем.

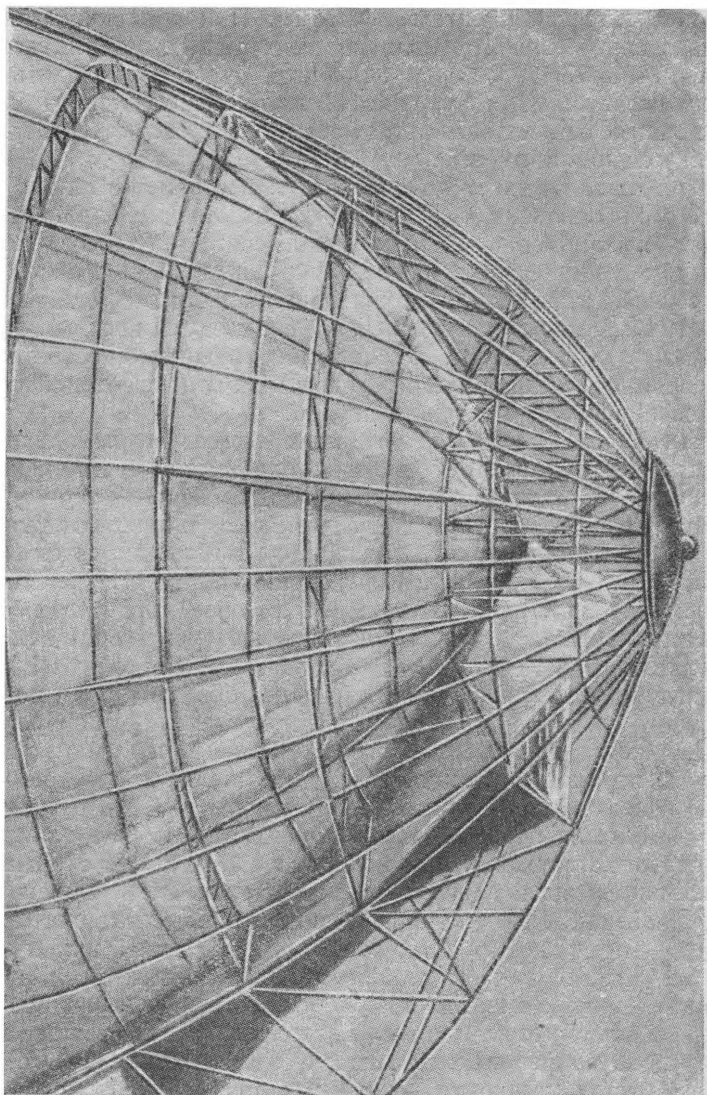
Эффективность действия моторных улавливателей значительно выше вследствие большей скорости потока за винтом и меньшей зависимости подачи от угла атаки дирижабля. Достоинством улавливателей, работающих от струи винта, является также возможность подавать воздух в баллонет тогда, когда дирижабль находится на старте, что часто требуется по условиям эксплуатации. Недостатком этих улавливателей является их большое лобовое сопротивление, но с этим можно бороться, делая улавливатели убирающимися или по типу улавливателей ВУК-1.

Конструкция носового улавливателя обычно довольно проста. Он состоит из диска с секторными прорезами, установленного на носу дирижабля и закрепленного на носовом усилении (фиг. 204). К этому диску изнутри, охватывая центральный конус носового усиления, подводится матерчатый воздухопровод. Для регулирования подачи воздуха за первым диском помещается второй с такими же, как у первого, прорезами. Вращая второй диск, мы открываем или закрываем прорезы в первом диске и тем самым изменяем площадь прохода воздуха. Воздухопровод представляет матерчатый шланг круглого или полукруглого сечения (фиг. 205). К шлангу пришивается матерчатый пояс с забортованным шпагатом и люверсами $5/_{10}$, поставленными с шагом 75—80 мм. За эти люверсы воздухопровод подвешивается к специально натянутым в киле тонким проволокам, а также закрепляется за шпангоутные балки, расчалку киля и т. д. В местах установки воздушных впускных клапанов в шланг врезаются и вклеиваются патрубки.

Для изготовления шлангов и патрубков применяется легкая однослойная прорезиненная или лакированная материя.

Определив по формуле (269) давление воздуха, поступающего в баллонет, и зная его секундное количество, можно перейти к расчету воздухопровода, т. е. к определению сечений отдельных элементов системы, скоростей протекания воздуха по этим элементам и гидравлических потерь. Расчет воздухопровода требует знания

коэффициентов сопротивления движению воздуха и делается путем последовательных приближений. Рассмотрим упрощенную схему



Фиг. 204. Носовая часть дирижабля N-1.

воздухопровода, состоящую из улавливателя, шланга и баллонета (фиг. 206).

Пусть:

v_0 (м/сек) — скорость встречного потока воздуха,

v_1 (м/сек) — скорость воздуха в улавливателе,

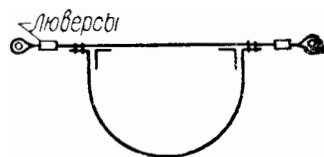
v_2 (м/сек) — скорость воздуха в шланге у улавливателя,
 v_3 (м/сек) — скорость воздуха в шланге у баллонета,
 f_1 (м²) — сечение улавливателя,
 f_2 (м²) — сечение шланга,
 p_6 (кг/м²) — давление в баллонете, определенное по формуле (269),
 Q (м³/сек) — секундное количество подаваемого воздуха,
 L (м) — длина шланга,
 c_1 — коэффициент гидравлических потерь (полных) в улавливателе,
 c_2 — коэффициент гидравлических потерь, отнесенный к 1 м длины шланга.

Скоростной напор в устье улавливателя будет равен

$$p_1 = \frac{\rho}{2} (v_0 - v_1)^2. \quad (270)$$

Скоростной напор в начале шланга

$$p_2 = p_1 - c_1 \frac{(v_1 + v_2)^2}{4}. \quad (271) \quad \text{Фиг. 205. Сечение шланга воздухопровода.}$$



Скоростной напор в конце шланга

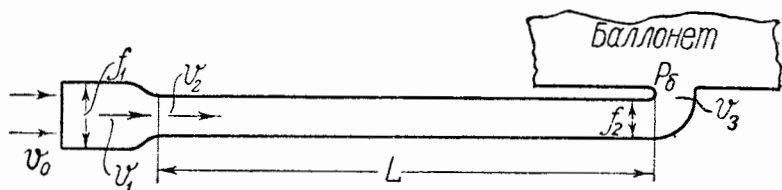
$$p_3 = p_6 = p_2 - c_2 L \frac{(v_2 + v_3)^2}{4}. \quad (272)$$

Расходы воздуха в улавливателе и в среднем сечении шланга равны

$$v_1 \cdot f_1 = Q; \quad \text{и} \quad \frac{v_2 + v_3}{2} f_2 = Q,$$

откуда

$$v_1 = \frac{Q}{f_1} \quad \text{и} \quad \frac{v_2 + v_3}{2} = \frac{Q}{f_2}.$$



Фиг. 206. Упрощенная схема воздухопровода.

Подставим полученное значение $\frac{v_2 + v_3}{2}$ в уравнение (272) и заменим неизвестные нам давления и скорости их найденными выше значениями:

$$\begin{aligned}
 p_6 = p_2 - c_2 L \frac{Q^2}{f_2^2} &= p_1 - c_1 \frac{(v_1 + v_2)^2}{4} - c_2 L \frac{Q^2}{f_2^2} = \\
 &= \frac{\rho}{2} (v_0 - v_1)^2 - c_1 \frac{(v_1 + v_2)^2}{4} - c_2 L \frac{Q^2}{f_2^2} = \frac{\rho}{2} \left(v_0 - \frac{Q}{f_1} \right)^2 - \\
 &- c_1 \frac{\left(\frac{Q}{f_1} + \frac{Q}{f_2} \right)^2}{4} - c_2 L \frac{Q^2}{f_2^2} = \frac{\rho}{2} \left(v_0 - \frac{Q}{f_1} \right)^2 - c_1 \frac{Q^2 \left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \right)^2}{4} - c_2 L \frac{Q^2}{f_2^2}. \quad (273)
 \end{aligned}$$

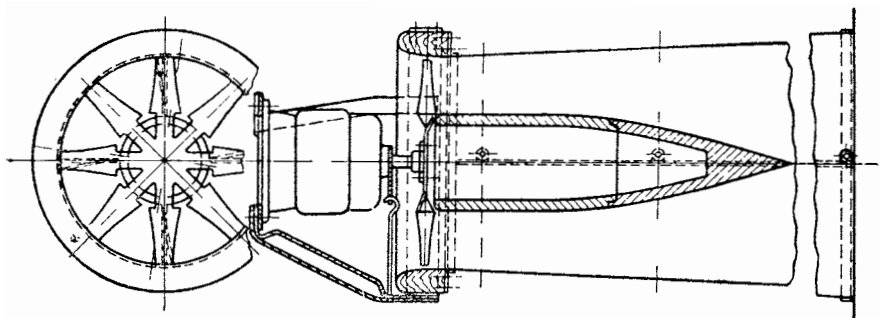
В полученном выражении неизвестны f_1 и f_2 и связанные с ними величины c_1 и c_2 . Поэтому расчет воздухопровода следует вести следующим образом.

Заданными величинами являются v_0 , Q , p_6 и L . Задаемся еще сечением f_3 и скоростью $\frac{v_2 + v_3}{2}$. Эту скорость рекомендуют брать около 20 м/сек. Зная f_2 и $\frac{v_2 + v_3}{2}$, определяем потери давления в шланге, т. е. величину $(p_2 - p_3)$, по формуле

$$p_2 - p_3 = c_2 L \frac{(v_2 + v_3)^2}{4} = \frac{L}{kd} \frac{(v_2 + v_3)^2}{4}. \quad (274)$$

Здесь по данным *Aircraft Technical Note 142 of Navy Department, April 5, 1919*, коэффициент k при измерении L и d в метрах, v — в м/сек и p — в мм вод. ст. может быть принят равным 14 600.

Выражение (274) позволяет найти значение c_2 .



Фиг. 207. Электровентильатор.

Задавшись коэффициентом c_1 , мы можем решить уравнение (273) относительно f_1 . Получив f_1 , следует проверить, отвечает ли оно выбранному значению коэффициента c_1 и в случае их несоответствия повторить расчет, взяв другое значение c_1 .

Определив таким образом в первом грубом приближении необходимое сечение улавливателя, составляем конструктивную схему воздухопровода и делаем более точный подсчет, учитывая гидравлические потери в местах изменений сечений, во всех коленах, клапанных патрубках и т. д., и в случае необходимости изменяем выбранные сечения отдельных элементов.

В полужестких дирижаблях шланг имеет целый ряд отводов к впускным клапанам, и количества воздуха, протекающего на разных участках воздухопровода, оказываются различными. Это усложняет расчет воздухопровода.

При расчете воздухопровода, имеющего питание от специальной моторно-вентиляторной группы, задаются сечением воздухопровода, определяют отвечающую ему скорость воздуха v и находят потерю напора в системе воздухопитания. Отсюда определяют напор p_6 , который должен давать вентилятор, а по этому напору, площади попереч-

ного сечения f воздухопровода и скорости воздуха v находят эффективную мощность моторно-вентиляторной группы, равную pvf .

Для дирижаблей обычно применяются центробежные вентиляторы типа Сирокко, сделанные из легких сплавов и приводимые в движение или от главных моторов, или, как это сделано на дирижабле «Зодиак» Е-9, от вспомогательного бензинового моторчика. Мощность такого мотора фирмы Гном и Рон на дирижабле «Зодиак» Е-9 была 5 л. с.

На американских дирижаблях применялись пропеллерные вентиляторы, приводимые в движение электромотором. Изображенный на фиг. 207 вентилятор с диаметром лопастей 305 мм подает 0,9 м³/сек при статическом давлении 18 мм вод. ст., расходуя 0,26 л. с.

КОНСТРУКТИВНЫЕ СВОЙСТВА БАЛЛОННО-ТАБЕЛАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

§ 1. КОНСТРУКТИВНЫЕ СВОЙСТВА ХЛОПЧАТУБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ

Основным материалом баллонных конструкций являются ткани. Ткани, применяемые в воздухоплавании, различаются как по материалу, из которого они изготовляются, так и по способу их изготовления и последующей обработке.

Характеристикой механических качеств тканей, применяемых для изготовления баллонных прорезиненных материй, является отношение временного сопротивления в кг/м к весу ткани в г/м^2 , называемое качеством материи и обозначаемое обычно буквой m .

Наибольшим распространением пользуются хлопчатобумажные ткани типа перкаля. Для перкалей m должно быть близко к 10 как для основы, так и для утка. Удлинение при разрыве должно составлять от 9 до 15%, причем отношение удлинений основы и утка не должно превышать 1,5. Для получения хорошей газонепроницаемости при последующей прорезинке ткань должна иметь плотность n (число нитей на 1 см) как по основе, так и по утку не ниже 40—45.

В технических условиях на поставку тканей необходимо указывать допуски на колебание временного сопротивления, удлинения и веса, так как от однородности ткани во многих отношениях зависят качества материи и конструкции. Для ткани, идущей на прорезинку, необходимым требованием является полнейшая расшлихтовка, так как даже следы крахмала могут вредно влиять на слой прорезинки. В основном перкаля, применяемые в воздухоплавательных конструкциях, имеют следующие характеристики:

Таблица XXI

Наименование	Прочность по основе кг/м		Прочность по утку кг/м		Удлинение основы 0/0		Удлинение утка 0/0		Качество основы $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{2}$		Качество утка $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{2}$		Вес, г/м^2	
	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до
Легкий перкаль	460	560	440	520	8	9	12	14	8	10	7	9	55	65
Средний перкаль	1000	1100	950	1000	8	9	12	14	9,5	11	9	10,5	95	105
Тяжелый перкаль	1400	1550	1200	1350	10	15	10	15	11	12	9	10	118	126

В нижеследующей таблице приведены характеристики перкалей, применяемых для производства баллонных материй.

Таблица XXII

№ по пор.	Марка	Вес г/м ²	Временное сопротивление, кг/м		Качество, $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{2}$		Плотность на 1 см	
			основа	уток	основа	уток	основа	уток
1	HH	67,3	715	715	10,0	10,0	53	53
2	AA	71,2	586	536	7,5	7,5	47	53
3	BB	95,0	805	805	8,4	8,4	53	55
4	CC	119	1072	1072	9,0	9,0	28	28
5	FF	127	1160	1340	9,1	10,0	37	39
6	DD	156	1430	1430	9,1	9,1	40	41
7	EE	169	1608	1608	9,4	9,4	—	—
8	—	54	517	526	9,6	9,7	—	—
9	—	68	694	680	10,0	10,0	—	—
10	—	86	1047	953	12,2	11,0	—	—
11	—	106	1223	1137	11,5	10,7	—	—
12	—	120	1440	1303	12,0	10,8	—	—
13	—	136	1593	1560	11,6	11,5	—	—
14	—	60	600	600	10,0	10,0	48	48
15	—	90	900	900	10,0	10,0	48	48
16	—	120	1300	1300	10,8	10,8	48	48
17	—	140	1300	1300	9,3	9,3	32	32
18	—	150	1700	1700	11,3	11,3	32	32

Данные перкалей от № 1 до № 7 включительно установлены техническими условиями Американского авиационного департамента для приемки перкалей, служащих для изготовления прорезиненных материй, и взяты из книги «Свободные и привязные аэростаты» Эпсона и Чендлера.

Данные перкалей от № 8 до № 13 включительно относятся к итальянским перкалям и взяты из «*Manuale di Aeronautica*», изд. 1924 г.

Данные перкалей от № 14 до № 18 включительно взяты из технических условий на поставку перкалей, идущих на изготовление баллонных материй, принятых Технической службой французской авиации.

В необработанном виде перкали применяются для всевозможных внутренних деталей: поясов, диафрагм и т. д., а также для наружных обтяжек оперения, кия и пр. с последующей лакировкой, для получения гладкой и ровной натянутой поверхности.

Для получения газонепроницаемости перкали подвергаются различной обработке, основными видами которой являются прорезинка, лакировка и бодрюширование.

Преимуществами хлопчатобумажных перкалей по сравнению с тканями из других волокнистых материалов являются дешевизна, большой срок службы, большой сортамент и достаточно высокое качество *m*.

§ 2. КОНСТРУКТИВНЫЕ СВОЙСТВА ШЕЛКОВЫХ ТКАНЕЙ

Кроме хлопчатобумажных тканей в воздухоплавательных конструкциях большим распространением пользовались шелковые ткани. Преимущества шелка заключаются в возможности получить более высокое качество m , чем для хлопчатобумажной ткани, а также меньший абсолютный вес квадратного метра. Кроме того, лакировка шелка для получения газонепроницаемости давала лучшие результаты, чем лакировка хлопчатобумажных тканей. Недостатками шелка, помимо его дороговизны, является быстрое старение, выражающееся в появлении ломкости ткани, и опасность возникновения электростатических зарядов.

Шелковые ткани, применяемые в итальянских воздухоплавательных конструкциях, по данным «*Manuale di Aeronautica*», изд. 1924 г., имеют следующие характеристики:

Таблица XXIII

Вес $г/м^2$	Прочность, $кг/м^2$		Качество, $\frac{кг \cdot м}{г}$	
	основа	уток	основа	уток
42	850	550	20	13,1
52	900	850	17,3	16,4
68	1350	950	19,8	14,0
82	1400	1250	17,0	15,2
120	2250	1500	18,7	13,3

Технические условия военного ведомства США, приведенные в книге «Свободные и привязные аэростаты» Эпсона и Чендлера, требуют следующих данных шелка:

прочность на разрыв	800	$\frac{кг \cdot м}{г}$ (+ 90 $\frac{кг \cdot м}{г}$)
вес	48	$\frac{г}{м^2}$
качество	6,7	$\frac{кг \cdot м}{г}$

Ввиду вышеуказанных недостатков, главным образом опасности электростатических разрядов, шелк для постройки дирижаблей в настоящее время не применяется. Необработанные шелковые ткани имеют сейчас широкое применение в производстве парашютов благодаря упругости этих тканей, не дающей смятий при складывании.

§ 3. КОНСТРУКТИВНЫЕ СВОЙСТВА ЛЬНЯНЫХ ТКАНЕЙ

Третьим типом ткани, применяемой в воздухоплавательных конструкциях, является льняное полотно. Льняное полотно обладает примерно тем же качеством m , что и хлопчатобумажные перкали, но абсолютные величины R и p для льняного полотна имеют большие значения. Льняное полотно применяется главным образом для различных обтяжек с последующей лакировкой авиационными лаками. Иногда льняная ткань применяется для обтяжки корпусов жестких воздушных судов.

У нас в Союзе льняная аэропланная ткань стандартизована техническими условиями Авто-авио 156.

Требования стандарта заключаются в следующем:

временное сопротивление в сухом виде не ниже 1200 кг/м ,

временное сопротивление в мокром виде не ниже 1600 кг/м ,

вес в нормальных условиях не выше 158 г/м^2 ,

вес в абсолютно сухом состоянии не выше 145 г/м^2 ,

плотность ткани не ниже 24 и не выше 26 нитей на 1 см.

Для изготовления прорезиненных или лакированных материй: льняная ткань в настоящее время почти не употребляется. Причинами этого являются, с одной стороны, меньший срок службы вследствие разрушения покрытия и затвердения самой ткани, а с другой, — большой вес при излишней прочности.

§ 4. ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

Для силовых элементов баллонных конструкций применяются специальные сорта тканей повышенной прочности. По материалу эти ткани делятся на хлопчатобумажные и льняные.

Хлопчатобумажные ткани типа брезентов бывают различного веса и прочности, отличаясь большой крутизной нитей ткани и, следовательно, большим удлинением. Льняные ткани типа парусины повышенной крепости применяются для силовых деталей там, где от материала требуется меньшее удлинение. Для различных вспомогательных частей, подстилочных брезентов, конвертов и т. д. применяются более грубые сорта льняных тканей типа брезентов. Характеристики некоторых типов таких тканей приведены в таблице XXIV:

Таблица XXIV

Наименование	Материал	Временное сопротивление кг/м	Вес, г/м^2	Удлинение $\%$
1	2	3	4	5
Автопнев	Хлопч.-бум.	4500	500	22
Автоканвас	"	4000	450	22
Спецпарус	Льняной	4500	500	12
Брезент	"	1200—2000	750	—

Перечисленные ткани в зависимости от назначения могут применяться как в необработанном, так и прорезиненном виде, причем при соответствующем прорезинивании из таких тканей готовятся материи, обладающие водонепроницаемостью и служащие для приготовления амортизаторов, балластных мешков, поплавков и т. д.

Хлопчатобумажные и льняные текстильные фабrikаты применяются в воздухоплавательных конструкциях еще в виде тесьмы или лент. Сортаменты на эти изделия, сильно различающиеся как по механическим свойствам, так и по материалу в настоящее время еще не установлены. Поэтому конструктору приходится пользоваться имеющимся на рынке материалом, производя каждый раз контрольные лабораторные испытания.

§ 5. ПРОРЕЗИНКА МАТЕРИЙ

Основным требованием к материи, идущей на постройку газовых оболочек воздушных судов, является максимальная газонепроницаемость. Это свойство баллонной материи достигается соответствующей обработкой суровья. В настоящее время наиболее распространенным способом получения газонепроницаемости является прорезинка ткани.

Прежде чем рассматривать процесс прорезинки материи, выясним требования, предъявляемые к баллонным материям.

Указанная выше газонепроницаемость материи достигается путем нанесения на нее газонепроницаемого слоя того или иного вещества, причем это должно давать минимальное увеличение веса материи.

Требование повышения срока службы вызывает необходимость предохранения внешних частей конструкции от атмосферных влияний защитными покрытиями. Они должны предохранять от этих влияний ткань и газонепроницаемую пленку, а в некоторых случаях еще уменьшать влияние инсоляции, препятствовать намоканию оболочки, вызывающему иногда утяжеление судна, доходящее до 30% веса оболочки. Иногда внешнее покрытие служит и для других специальных целей, например для камуфляжа военных привязных аэростатов и т. д.

Существующие типы тканей не всегда удовлетворяют требованиям прочности. Это вызывает необходимость дублирования ткани, т. е. соединения нескольких ее слоев. Такое дублирование, как это будет указано ниже, необходимо и для получения достаточной газонепроницаемости прорезиненных материй.

Требования минимальных деформаций вызывают необходимость применения в некоторых случаях так называемых диагонально дублированных материй, т. е. таких, у которых нити накладываемых слоев ткани не параллельны между собой. Этим самым удовлетворяется и требование нераздираемости материи, так как разрыву материи в этом случае будут сопротивляться оба (основа и уток) направления нитей диагонального слоя ткани.

От самой газонепроницаемой пленки требуется хорошая сопротивляемость атмосферным и механическим воздействиям, отсутствие вредного влияния на суровье, из которого изготовлена материя, и возможность простого и надежного соединения кусков материи, удовлетворяющего в то же время требованиям прочности и газонепроницаемости. Иногда к газонепроницаемой пленке предъявляются и другие специальные требования. Перечисленные требования могут значительно изменяться в зависимости от условий работы той части конструкции, для которой предназначается данная материя. Само собой подразумевается, что требование минимального веса всегда остается в силе.

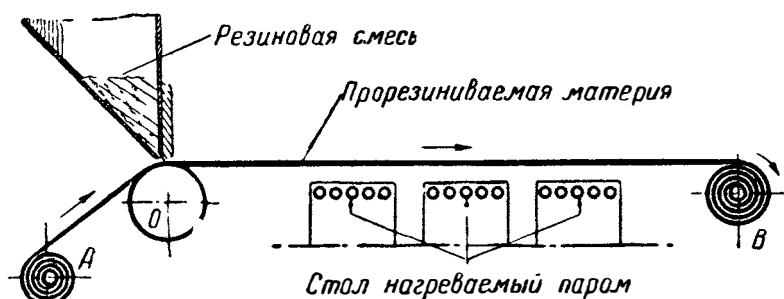
Процесс прорезинки состоит в нанесении на ткань тонкой пленки раствора резиновой смеси и в последующей вулканизации, т. е. в обработке каучука серой, большей частью при повышенных температуре и давлении.

Резиновая смесь состоит из: каучука обычно высокосортного типа «Пара», вулканизатора — серы в чистом виде или полухлористой серы для холодной вулканизации, инертных наполнителей для получения более дешевого продукта, окрашивающих веществ разнообразного химического состава и цвета, усилителей, улучшающих механические свойства резиновой пленки (такими усилителями являются, например, газовая сажа, окись цинка, мел и т. д.) и ускорителей неорганического или органического происхождения, ускоряющих процесс вулканизации.

За границей точный состав резиновой смеси является обычно производственным секретом каждого завода и изменяется не только для различных заводов, но и для различных типов материи.

В качестве растворителя по большей части применяется высокосортный бензин или бензол.

Нанесение на ткань резиновой пленки производится при помощи шпреди́нг-машины, схематически показанной на фиг. 208.



Фиг. 208. Шпреди́нг-машина.

Ткань с рулона, расположенного в передней (по чертежу — левой) части машины, через стол, обогреваемый паром, перематывается на второй рулон, расположенный в задней части машины.

В передней части машины имеется приспособление для загрузки резиновой смеси и нож, управляемый помощью винтов с маховичками и регулирующий толщину резиновой пленки. Ткань, сматываясь с переднего рулона, покрывается под ножом пленкой резиновой смеси, растворитель которой улетучивается при проходе ткани над нагретой плитой, и наматывается на задний рулон. Во избежание склеивания между собой слоев прорезиненной материи она прокладывается чистой тканью.

Качество получаемой материи во многом зависит от правильного и аккуратного ведения процесса прорезинки. Равномерность веса материи и газонепроницаемость зависят от числа проходов материи через шпреди́нг-машину, т. е. от веса резины, накладываемой на квадратный метр за один проход.

В технических условиях французского военного ведомства указывается, что слой резины, накладываемый на ткань при одном проходе через шпреди́нг, не должен превышать 10 г/м^2 . Так как обычно вес

резинового слоя между слоями ткани составляет от 60 до 120 г/м², то ткань проходит процесс прорезинки от 6 до 12 раз.

Для улучшения газонепроницаемости иногда ткань после прорезинки, но до дублирования, подвергается каландрированию, т. е. обжатию между двумя гладкими валиками, с целью уплотнения резинового слоя.

Во время процесса прорезинки могут иметь место:

а) неравномерность и пропуски нанесения резинового слоя, что дает повышение газопроницаемости, и

б) образование продольных складок, закрепляющихся при проходе материи сквозь вальцы и вызывающих резкое понижение прочности материи в этом месте.

По окончании прорезинки, т. е. после нанесения на ткань требуемого слоя резины, однослойные материи непосредственно поступают в дальнейшую обработку, многослойные же предварительно проходят операцию дублировки, заключающуюся в том, что два или несколько слоев ткани складываются прорезиненными сторонами вместе и, пройдя через вальцы дублировочной машины, склеиваются между собой.

Следующей операцией, которой подвергаются прорезиненные материи, является вулканизация, имеющая целью придать резине упругость, эластичность и устойчивость против температурных влияний.

В основном различаются два способа вулканизации.

Французский, или холодный, способ состоит в том, что после прорезинки материя подвергается обработке парами полухлористой серы с тщательной последующей нейтрализацией парами нашатыря. Недостаточно тщательно произведенная нейтрализация приводит к разрушению ткани остатками хлористой серы.

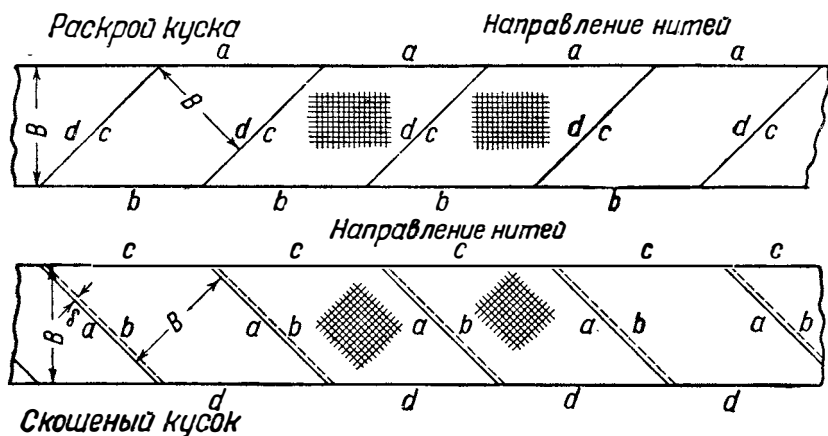
Американский, или горячий, способ вулканизации, принятый на наших заводах, заключается в том, что в резиновую смесь добавляется определенное количество чистой серы и после окончания прорезинки и дублировки материя, смотанная в рулон, подвергается действию пара в закрытых котлах при температуре 120—130° и повышенном давлении. Применение ускорителей при горячей вулканизации недопустимо.

Режим вулканизации, т. е. температура, давление и время выдержки материи, может довольно сильно меняться и обычно подбирается для каждого типа материи особо.

Часто дефектом этого способа вулканизации является «ошпаривание» — перегрев кромок материи, вынуждающий иногда браковать весь кусок. Вообще же горячая вулканизация, давая несколько большую газопроницаемость по сравнению с холодным способом, дает большую устойчивость резинового слоя и более однородную продукцию.

Азростатные прорезиненные материи в зависимости от назначения различаются по типам составляющих их перкалей, по числу слоев ткани, по способу дублировки, по цвету и типу окраски и обработки наружной поверхности. Исходя из требований прочности, для изготовления прорезиненной материи подбирают тот или иной тип перкаля. В многослойных материях иногда удается получить удачный тип материи путем комбинирования различных перкалей, но для этого необходимо, чтобы относительные удлинения этих перкалей при равных напряжениях были близки между собой.

Число слоев ткани определяется временным сопротивлением составляющих материй перкалей. Способ дублировки материи, при котором направления основы и утка обоих слоев тканей совпадают и при котором, следовательно, прочность материи равняется сумме прочностей составляющих перкалей, называется параллельным дублированием. Для выполнения требования нераздираемости материи применяется так называемое диагональное дублирование. Для этого ткань (фиг. 209) разрезается по шаблонам на параллелограммы со сторонами c , идущими под углом 45° к направлению основы. Высота параллелограмма между сторонами разреза c равна ширине по утку параллельного слоя ткани. Полученные таким образом параллелограммы склеиваются между собой по линиям кромок и образуют рулон «скошенной» или «косяковой» ткани. Комбинации одного или нескольких параллельных слоев и одного косякового дают диагонально дубли



Фиг. 209. Диагональная дублировка материи.

рованную материю. При нормальных испытаниях на прочность образцов материи на разрывных машинах Шопера косяковый слой не дает повышения крепости, так как нити, закрепленные в одном зажиме, не попадают под другой зажим. Испытание же цилиндрических разрываеваемых давлением воздуха моделей, у которых направление нитей параллельного слоя совпадает с направлением оси цилиндра, показывает повышение прочности материи приблизительно процентов на 30 нормального временного сопротивления ткани косякового слоя. Помимо предохранения материи от раздираания, диагональный слой препятствует также большим деформациям сдвига.

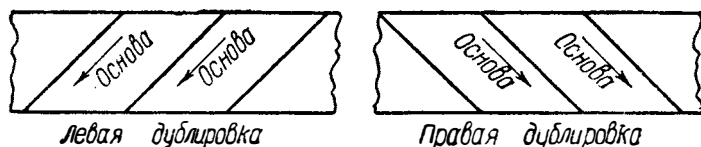
По направлению основы косякового слоя ткани различают материи правого и левого, или I и II, направлений. Если (фиг. 210), смотря по направлению основы параллельного слоя ткани, переклейки косякового слоя идут вперед от левой руки к правой, то, по аналогии с болтовой резьбой, такая материя называется материей правого направления.

Окрашивание баллонных материй достигается или окрашиванием наружного слоя перкаля или нанесением на наружную поверхность

материи резинового слоя, смешанного с каким-либо красящим веществом. Наиболее распространенной раньше окраской баллонных материй, сохранившейся и теперь для оболочек сферических аэростатов, является окраска перкаля внешнего слоя желтой хромовой краской (хромокислой солью свинца) или анилиновыми красителями.

Окраска хромовым красителем задерживает ультрафиолетовые лучи солнца, разрушающим образом влияющие на резину.

Из военных соображений материи для привязных аэростатов окрашивают в различные цвета. Для получения зеленовато-защитного цвета к хромовой краске добавляют чистой сажи (газовой). Применяются и анилиновые краски, растворимые в бензине. Все применяемые красители должны быть строго нейтральны и не должны содержать жирных веществ. Для газовой сажи содержание веществ, растворимых в бензине (нафталина, гудрона и т. д.), допускается не выше 3%.



Фиг. 210. Правая и левая дублировка.

Для уменьшения намокания материи, предназначенные для изготовления внешних оболочек, покрываются с наружной стороны слоем резины весом около 30—40 г/м². Для уменьшения влияния инсоляции, материи, предназначенные для постройки оболочек мягких и полужестких дирижаблей, покрываются с наружной стороны слоем резины с примесью алюминиевого порошка, образующего блестящую поверхность, хорошо рассеивающую солнечные лучи. Алюминиевый порошок, применяемый для этой цели, должен быть свободен от примесей железа и марганца. Помимо уменьшения влияния инсоляции, алюминиевое покрытие обладает способностью проводить электрический ток и тем самым уменьшает опасность образования электростатических зарядов на отдельных металлических деталях, укрепленных на оболочке судна. Способность задерживать ультрафиолетовые лучи у алюминиевого покрытия невелика, почему в таких материях желательно применение внешнего слоя из перкаля, окрашенного желтой хромовой краской. В некоторых случаях применяется покрытие наружного слоя ткани различными целлоновыми лаками.

Нормальная заводская приемка рулонов прорезиненной баллонной материи состоит из испытаний: а) на прочность, б) на удлинение, в) на вес и г) на газопроницаемость.

Испытание на прочность производится с образцами шириной 50 мм и длиной между зажимами 200 мм на разрывной машине Шопера с электроприводом, обеспечивающим постоянную скорость нагружения. Образцы для испытаний вырезаются параллельно нитям основы и утка как параллельного, так и диагонального слоя. Большую роль при этих испытаниях играет скорость нагружения.

Удлинение (относительное) определяется или по формуле, общепринятой при испытаниях материалов, или по диаграмме разрыва.

Вес материи определяется путем взвешивания образцов установленных размеров на достаточно точных весах и приводится к весу в $г/м^2$.

Газопроницаемость определяется на весах Ренара или, как это теперь принято, на приборе Шекспира в литрах с $1 м^2$ в 24 часа и приводится к нормальным условиям, т. е. к температуре 15° и давлению 760 мм.

Эта программа заводских испытаний, особенно в части определения прочности и деформаций, не дает истинных характеристик материи и может служить лишь для сравнений и проверки однообразия продукции.

Баллонные прорезиненные материи делятся на следующие основные типы.

Однослойные материи с малой газонепроницаемостью, обладающие небольшим весом и прочностью, равной прочности исходного перкаля. Применяются там, где надо отделить воздух от воздуха или газ от газа. При применении для наружных деталей окрашиваются или алюминированы. Невулканизированные прямые или скошенные материи этого типа режутся на ленты.

Двухслойные параллельно дублированные материи мало газопроницаемы, обладают прочностью, равной сумме прочностей исходных перкалей, но легко поддаются раздиранию. Применяются для внутренних деталей, отделяющих газ от воздуха, например для баллонетов, или для усилений в виде лент. В последнем случае могут быть окрашены или алюминированы.

Двухслойные диагонально дублированные материи мало газопроницаемы, хорошо сопротивляются раздиранию. Прочность их принимается равной прочности перкаля параллельного слоя. Применяются для оболочек небольших (до $2500 м^3$) кубатур. Обязательно должны быть окрашены или алюминированы.

Для оболочек дирижаблей средних и больших кубатур уже не представляется возможным получить перкали, достаточно прочные для изготовления двухслойных диагонально дублированных материй. Поэтому здесь применяют трехслойные материи, имеющие два параллельно дублированных слоя и один — обычно наружный — диагональный слой.

Трехслойные материи обладают следующими достоинствами.

Вес диагонального слоя ткани, мало увеличивающего общую прочность материи, составляет в трехслойной материи только одну треть веса ткани, против половины в двухслойных диагонально дублированных материях. Это дает возможность при равной прочности повысить качество m материи. Наличие двух пленок резины между слоями ткани дает меньшую газопроницаемость материи, чем один слой резины того же веса. Деформации трехслойной материи более равномерны, чем деформации двухслойных материй. Наконец, лучшая защита основных слоев ткани от атмосферных влияний и, следовательно, большая эксплуатационная надежность является также значительным достоинством трехслойных материй.

К недостаткам трехслойных материй можно отнести их сравнительно высокую стоимость, зависящую от большего количества ткани, идущей

на изготовление 1 м² материи, и от более сложного процесса изготовления.

Для изготовления трехслойных материй могут применяться различные комбинации перкалей. Например, применяя для параллельных слоев перкали среднего веса, можно делать диагональный слой из легкого перкаля, что еще более повышает качество *т* материи.

Обычно трехслойные материи, предназначенные для постройки оболочек дирижаблей, делаются алюминированными, хотя в некоторых специальных случаях применяют и другие виды окрашивания.

Баллонные материи с числом слоев ткани больше трех применяются сравнительно редко. Четырехслойные материи изготавливаются или с тремя параллельными слоями ткани и одним диагональным, или с двумя слоями параллельными и двумя диагональными разных направлений. Последнее увеличивает равномерность деформаций этой материи.

§ 6. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОРЕЗИНЕННЫХ МАТЕРИЙ

В настоящее время еще не существует точно установленных стандартов на прорезиненные баллонные материи. Заводские обозначения часто различают материи не только по конструкции, но и по технологическим процессам изготовления. Отсутствие стандартов, а также опытный характер постройки дирижаблей, часто заставляют самого конструктора вырабатывать необходимый тип материи, базируясь на имеющихся типах перкалей.

Приняв три перечисленных выше типа перкалей: легкий, средний и тяжелый, рассмотрим типы прорезиненных материй, которые могут быть получены путем комбинации этих перкалей.

а) Однослойные материи для диафрагм, рулевых мешков и т. д.

1. Легкий перкаль — 60 г/м² + 80 г/м² резины, всего 140 г/м²; прочность 400—500 кг/м и воздухопроницаемость 30 л/м² в сутки.

2. Средний перкаль — 100 кг/м² + 80 г/м² резины, всего 180 г/м²; прочность 900—1000 кг/м и воздухопроницаемость 30 л/м² в сутки.

3. Средний перкаль — 100 г/м² + 120 — 140 г/м² резины, всего 220—240 г/м²; прочность 900—1000 кг/м и газопроницаемость по водороду 30 л/м² в сутки.

Тяжелый перкаль для однослойных материй не применяется.

б) Двухслойные параллельно дублированные материи.

1. Материя для баллонетов.

Два легких перкаля — 120 г/м² + 120 г/м² резины, всего 240 г/м²; прочность 1000—1200 кг/м и газопроницаемость 8—12 л/м² в сутки. Применяется неокрашенной, иногда парафинируется (покрывается раствором парафина в бензине или бензоле) для повышения газонепроницаемости, что увеличивает вес на 20—30 г/м².

2. Материя для поясов и усилений.

Два легких перкаля — 120 г/м² + 80 г/м² резины, всего 200 г/м²; прочность 1000—1200 кг/м. Окраска снаружи алюминиевым порошком повышает вес на 30 г/м², т. е. до 230 г/м².

3. Материя для поясов и усилений.

Два средних перкала — $200 \text{ г/м}^2 + 80 \text{ г/м}^2$ резины, всего 280 г/м^2 ; прочность $2000\text{—}2200 \text{ кг/м}$. Окраска снаружи алюминиевым порошком повышает вес на 30 г/м^2 , т. е. до 310 г/м^2 .

в) Двухслойные диагонально дублированные материи для оболочек небольших кубатур.

Применяются с наружным слоем окрашенного перкала или с нанесением на внешнюю сторону слоя резины с красителем. В последнем случае вес материи против указанного ниже повышается на 30 г/м^2 .

Изменение прочности от типа (прочности) перкала диагонального слоя здесь не учитывается, т. е. дается прочность, получаемая при испытании образцов на разрывных машинах.

1. Легкий перкаль параллельный	60 г/м^2
Легкий перкаль диагональный	60 г/м^2
Резина между слоями ткани	120 г/м^2

Всего 240 г/м^2

Прочность $500\text{—}600 \text{ кг/м}$ и газопроницаемость $10\text{—}12 \text{ л/м}^2$ в сутки.

2. Средний перкаль параллельный	100 г/м^2
Легкий перкаль диагональный	60 г/м^2
Резина между слоями ткани	120 г/м^2

Всего 280 г/м^2

3. Средний перкаль параллельный	100 г/м^2
Средний перкаль диагональный	100 г/м^2
Резина между слоями ткани	120 г/м^2

Всего 320 г/м^2

Для материй, указанных в пп. 2 и 3, прочность можно принять $1000\text{—}1200 \text{ кг/м}$ и газопроницаемость $10\text{—}12 \text{ л/м}^2$ в сутки.

4. Тяжелый перкаль параллельный	140 г/м^2
Легкий перкаль диагональный	60 г/м^2
Резина между слоями ткани	120 г/м^2

Всего 320 г/м^2

5. Тяжелый перкаль параллельный	140 г/м^2
Средний перкаль диагональный	100 г/м^2
Резина между слоями ткани	120 г/м^2

Всего 360 г/м^2

6. Тяжелый перкаль параллельный	140 г/м^2
Тяжелый перкаль диагональный	140 г/м^2
Резина между слоями ткани	120 г/м^2

Всего 400 г/м^2

Для материй, указанных в пп. 4, 5 и 6, прочность можно принять $1400\text{—}1600 \text{ кг/м}$ и газопроницаемость $10\text{—}12 \text{ л/м}^2$ в сутки.

Применение для диагонального слоя более легких перкалей, очень выгодное в весовом отношении, не всегда является возможным. Помимо

того, что диагональный слой повышает общую прочность материи на 30% своей основной прочностью, перерезывающие силы, возникающие в оболочке, работающей как балка, достигают значительной величины и при относительно слабом диагональном слое могут вызвать неприятные деформации оболочки. Поэтому выбор типа перкаля для диагонального слоя должен производиться после тщательного определения напряжений, возникающих в оболочке.

г) Трехслойные материи.

Ниже приводятся характеристики трехслойных материй, имеющих два внутренних параллельных слоя перкаля и внешний диагональный. Прочность, так же как в предыдущем случае, дана без учета диагонального слоя, а вес — без учета слоя наружной прорезинки.

1. Легкий перкаль диагональный	60 г/м ²
Два легких перкаля параллельных	120 г/м ²
Два слоя (внутренних) резины	160 г/м ²
Всего	340 г/м ²

Прочность 1300—1400 кг/м и газопроницаемость 8—10 л/м² в сутки.

2. Легкий перкаль диагональный	60 г/м ²
Легкий перкаль параллельный	60 г/м ²
Средний перкаль параллельный	100 г/м ²
Два слоя (внутренних) резины	160 г/м ²
Всего	380 г/м ²

Прочность 1600—1700 кг/м и газопроницаемость 8—10 л/м² в сутки.

3. Легкий перкаль диагональный	60 г/м ²
Два средних перкаля параллельных	200 г/м ²
Два слоя (внутренних) резины	160 г/м ²
Всего	420 г/м ²
4. Средний перкаль диагональный	100 г/м ²
Два средних перкаля параллельных	200 г/м ²
Два слоя (внутренних) резины	160 г/м ²
Всего	460 г/м ²

Для материй, указанных в пп. 3 и 4, прочность можно принять 2200—2400 кг/м и газопроницаемость 8—10 л/м² в сутки.

5. Средний перкаль диагональный	100 г/м ²
Средний перкаль параллельный	100 г/м ²
Тяжелый перкаль параллельный	140 г/м ²
Два слоя (внутренних) резины	160 г/м ²
Всего	500 г/м ²

Прочность 2400—2600 кг/м и газопроницаемость 8—10 л/м² в сутки.

6. Средний перкаль диагональный	100 г/м ²
Два тяжелых перкаля параллельных	280 г/м ²
Два слоя (внутренних) резины	180 г/м ²
Всего	560 г/м ²
7. Тяжелый перкаль диагональный	140 г/м ²
Два тяжелых перкаля параллельных	280 г/м ²
Два слоя (внутренних) резины	180 г/м ²
Всего	600 г/м ²

Для материй, указанных в пп. 6 и 7, прочность можно принять 2900—3100 кг/м и газопроницаемость 6—8 л/м² в сутки. Применение разных типов перкалей для параллельных слоев данной материи должно производиться с большой осторожностью, так как при сильно различающихся удлинениях может получиться, что один из слоев окажется перенапряженным, в то время как другой будет недогружен.

Применение более легких перкалей для диагонального слоя трехслойных материй возможно с учетом сказанного при рассмотрении двухслойных материй. Все приведенные выше цифры являются лишь ориентировочными и на практике могут изменяться в ту или иную сторону в зависимости от тщательности выбраковки перкалей и характера процесса прорезинки.

У французских и американских трехслойных материй диагональные слои расположены внутри, а не наружу, как это принято у нас. Такую конструкцию трудно считать выгодной, так как опыт эксплуатации мягких дирижаблей без элинга показал, что при совершенно разрушившемся наружном слое материи внутренние слои еще сохраняют свою прочность и тем самым уменьшают опасность эксплуатации дирижабля. Также можно отметить, что во время эксплуатации трение поясных веревок, ходьба людей и т. д. всегда снижают прочность внешнего слоя ткани. Следовательно, помещение этого менее нагруженного слоя снаружи представляется более рациональным.

С другой стороны, диагональный слой, расположенный посередине, может в большой степени участвовать в работе параллельных слоев.

Оригинальный тип однослойной прорезиненной материи был разработан известной германской фирмой Ридингер для постройки оболочки аэростата «Дейчланд», принимавшего участие в состязаниях на кубок Гордон—Беннета в 1932 г. Эта материя была приготовлена из льняного полотна, окрашенного хромовой краской в желтый цвет, весом 105 г/м². Вес внутреннего резинового слоя составлял 100 г/м², так что материя получалась весом 205 г/м² при прочности 1100 кг/м и газопроницаемости 20 л/м² в сутки. Эта газопроницаемость для однослойной материи весьма незначительна.

Для уменьшения намокания материя после изготовления оболочки была покрыта снаружи тонким слоем парафина.

§ 7. ЛАКИРОВАННЫЕ МАТЕРИИ

Для получения газонепроницаемости баллонных тканей применяются иногда различные лаковые покрытия. До сих пор мы не имеем

лаков, которые могли бы полностью заменить прорезинку и удовлетворить всем поставленным требованиям.

По этим требованиям лаковая пленка должна:

- 1) дать газопроницаемость не выше 10 л/м^2 в сутки;
- 2) иметь срок службы не ниже прорезинки;
- 3) не ломаться при сгибании материи (быть эластичной);
- 4) не понижать прочность ткани и иметь удлинение не ниже удлинения ткани;
- 5) при равной газопроницаемости иметь вес не выше веса резинового слоя;
- 6) допускать дублировку материи;
- 7) допускать производство оболочек из заранее лакированных материй, причем изготовление прочного и газонепроницаемого шва не должно быть чрезмерно сложным;
- 8) быть негорючей.

Кроме того, стоимость лакированной материи не должна превышать стоимости прорезиненной.

Химический состав применяемых лаков всегда является секретом фирмы, их изготовляющей. По общему составу они разделяются на масляные и целлоновые.

У Эпсона и Чендлера приводится несколько примеров материи с внутренней прорезинкой и с наружным покрытием масляными или целлоновыми лаками. Из числа этих материй укажем на следующие:

М а т е р и я № 61

Белый целлоновый лак марки „Спеслер“ 99-14,035 .	68 г/м^2
Перкаль типа Н, параллельный	68 „
Внутренняя прорезинка	105 „
В с е г о	240 $\text{г/м}^2 + 5\%$
Прочность: по основе	715 кг/м
„ по утку	572 „
Газопроницаемость	16 л/м^2 в сутки

М а т е р и я № 63

Белый масляный лак 99-14, 036	119 г/м^2
Наружная прорезинка	17 „
Перкаль типа Н, параллельный	68 „
Внутренняя прорезинка	14 „
В с е г о	217 $\text{г/м}^2 + 5\%$
Газопроницаемость	16 л/м^2 в сутки

У нас в Советском союзе лакированные материи для баллонного производства пока еще не применялись.

Лакирование применяется во всевозможных обтяжках: килевой фермы, гондол, оперения и т. д. Такие обтяжки, заготовленные из необработанной хлопчатобумажной или льняной ткани, вручную натягиваются на ту часть судна, которую они должны закрывать, и затем покрываются лаком для получения гладкой, туго натянутой поверх-

ности с окрашиванием ее в желаемый цвет. Применяемые для этого лаки должны:

- 1) давать ровную, натянутую поверхность ткани;
- 2) сохранять, а по возможности и повышать, прочность ткани;
- 3) давать минимальный привес;
- 4) быть водонепроницаемыми;
- 5) быть несгораемыми.

Обычно для этой цели применяются нитроцеллюлозные или целлоновые лаки, бесцветные или с примесью порошка алюминия. Ниже приводятся некоторые данные, показывающие влияние числа покрытий нитроцеллюлозным лаком на прочность, удлинение и привес перкаля. Эти данные взяты из работы И. Ф. Андреева «Исследование аэропланнх тканей, покрытых аэролаками», Труды ЦАГИ, вып. № 61.

Перкаль, имевший прочность по основе 976 кг/м, по утку — 1046 кг/м, удлинения по основе 11%, по утку — 16% и вес 99 г/м², покрывался лаком типа Ц (бесцветным), причем число покрытий бра-лось от 1 до 6. Результаты получились следующие:

Таблица XXV

Прочность и удлинение перкаля в зависимости от числа покрытий

Число покрытий	Основа			Уток		
	Прочность	Удлинение	Прирост крепости	Прочность	Удлинение	Прирост крепости
раз	кг/м	0/0	0/0	кг/м	0/0	0/0
1	1060	8,5	8,5	1140	16,5	8,8
2	1260	9,0	29,3	1184	16,0	13,0
3	1480	9,5	51,6	1250	20,0	19,2
4	1440	10,0	47,8	1326	19,0	26,5
5	1430	8,5	44,3	1260	17,5	20,2
6	1414	9,5	42,0	1226	17,5	17,0

Привес ткани в зависимости от числа покрытий

Число покрытий	1	2	3	4	5	6
Вес ткани, г/м²	109,5	119,6	135,7	151,6	166,3	182,4
Привес, г/м²	10,7	20,8	36,9	52,8	67,5	83,6
Привес, 0/0	10,8	21,0	37,3	53,4	68,3	84,6

Сравнивая вышеприведенные цифры, а также данные экспозиции, можно считать, что для наших целей, т. е. для обтяжек килевой фермы, гондол, оперения и т. д., совершенно достаточно трехкратного покрытия. Действительно, за 6 месяцев экспозиции материя с трехкратным покрытием потеряла в прочности по основе 276 кг/м и по утку 250 кг/м, тогда как при тех же условиях материя с пятикратным

покрытием потеряла 330 кг/м по основе и 320 кг/м по утку. Приведенный пример нельзя, конечно, распространять на все типы материй и лаков, так как увеличение или уменьшение прочности сильно зависит от свойств самой ткани и применяемых лаков.

Кроме того, большие свободные панели дирижабельных обтяжек требуют экспериментального определения степени предварительной затяжки материи.

§ 8. БОДРЮШИРОВАННЫЕ МАТЕРИИ

Бодрюш представляет собой пленку, снятую со слепой кишки крупного скота. В обработанном виде эти пленки имеют размер от $0,10 \cdot 0,45$ до $0,25 \cdot 0,90 \text{ м}$, полупрозрачный белый цвет и вес $4\text{—}16 \text{ г/м}^2$. Прочность бодрюша невелика: приблизительно 70 кг/м , но газопроницаемость практически равна нулю (от $0,1$ до $0,8 \text{ л/м}^2$ в сутки). Прежде для изготовления баллонов жестких дирижаблей применяли чистый бодрюш, склеенный во много слоев. Малая прочность и легкость повреждения таких баллонов, а также их большая стоимость заставили отказаться от этого способа и перейти на бодрюшированные материи.

Бодрюширование материи заключается в наклейке на нее бодрюшных пленок. Для бодрюширования применяются хлопчатобумажные и, если требуется исключительная легкость, шелковые материи. Применение шелка в таких случаях, несмотря на его дороговизну, оправдывает себя. Наклейка бодрюша на ткань производится с помощью клея, изготовленного в основном из желатина, глицерина и соды с некоторыми другими примесями. После бодрюширования материи лакируются со стороны бодрюша, а иногда и с обеих сторон. Такие однослойные материи могут применяться только для газовых баллонов жестких дирижаблей, защищенных от непосредственных атмосферных воздействий наружной обтяжкой.

Были проделаны опыты получения легкой и мало газопроницаемой материи путем бодрюширования прорезиненных многослойных материй. В этом случае резина между слоями ткани служила только для их склеивания, а газонепроницаемость достигалась наклейкой с внутренней стороны дублированного бодрюша. Практические результаты опытов неизвестны.

Применение бодрюшированных материй затрудняется сложностью получения газонепроницаемого шва, так как заклейка шва лентой из бодрюша на уже окончательно изготовленной материи связана с рядом дополнительных операций. Крупнейшим недостатком бодрюша является его хрупкость, почему малейшая неосторожность работы с бодрюшированными тканями может вызвать значительную газопроницаемость через мельчайшие разрывы пленок.

Получение бодрюша в количествах, необходимых для крупного строительства дирижаблей, затруднительно. Кроме того, большие трудности вызываются разнородностью поступающего бодрюша и сложностью его длительного хранения. Все это, так же как и отсутствие лаков достаточно высокого качества, препятствует применению бодрюша, несмотря на его исключительную газонепроницаемость и малый вес.

В настоящее время только дирижабль «Граф Цеппелин» имеет газовые баллоны, изготовленные из бодрюшированной материи, но даже и у него часть баллонов в порядке опыта заменена баллонами из прорезиненной материи. Газовые баллоны американских жестких судов «Акрона» и «Мэкона» были изготовлены из материи, прорезиненной латексом.

§ 9. КОНСТРУКТИВНЫЕ ДАННЫЕ НИТОК

Для соединения между собой отдельных кусков материи в баллонном производстве применяются сшивка и склейка. Для сшивки материи, производящейся обычно на швейных машинах, берутся по большей части крученые хлопчатобумажные нитки. Нитки изготавливаются из высокосортного хлопчатобумажного волокна и различаются между собой по типу скрутки, окраске, обработке и толщине (номеру нитки). По скрутке нитки разделяются на два основных типа:

1) нитки в три сложения, т. е. такие нитки, которые получают путем скручивания трех нитей однониточной пряжи в одну нить однократным кручением;

2) нитки в шесть сложений, т. е. такие нитки, которые получают путем последовательного скручивания сначала двух однониточных прядей в одну двухниточную прядь, затем трех полученных таким образом двухниточных крученых прядей в одну нить.

Обычно крутка прядей в нитку имеет направление, противоположное крутке нитей в прядь.

По окраске нити обычно бывают белые (отбеленные) или черные. Для шитья оболочек применяются исключительно белые нитки, не имеющие окраски, а лишь отбеленные. Белые нитки не должны давать реакции на свободный хлор.

По обработке нитки разделяются на лощеные (апретированные), т. е. обработанные крахмалом, и матовые (неапретированные). Апретированные нитки, имеющие гладкую, ровную поверхность, более удобны для работы на швейных машинах, но вредное действие крахмала на резину заставляет в некоторых случаях предпочитать неапретированные нитки.

Нумерация ниток определяется обычно числом мотков нитей определенной длины, приходящихся на единицу веса. Метрическая нумерация определяется числом мотков ниток по 1000 м, приходящихся на 1 кг. Английская нумерация определяется числом мотков нитей по 840 ярдов (764 м), приходящихся на 1 английский фунт (0, 453 кг). Английский номер равен 1,693 метрического. Наша промышленность еще не перешла на метрическую нумерацию и сохраняет прежнюю торговую. В ОСТ на нитки торговая нумерация дается параллельно с английской.

На рынок нитки выпускаются намотанными на деревянные катушки или бумажные патроны.

Правила приемки ниток подробно изложены в ОСТ 1434. При приемке проверяются длина намоток на катушках или патронах, номер ниток, их крепость, удлинение при разрыве и отсутствие в нитках свободного хлора.

Таблица XXVI

Технические условия на нитки швейные, хлопчатобумажные, матовые, неапретированные в шесть сложений ОСТ 4433

№ по пор.	Торговый номер	Номер пряжи по англ. нумерации	Вес г/55 м (60 ярд.)		Средняя крепость г	Минимальная крепость г	Минимальное растяжение %	Неровный вес %
			от	до				
1	10	36	5,55	—5,25	2000	1700	5,3	5,5
2	20	44	4,50	—4,25	1620	1375	5,0	
3	30	54	3,75	—3,55	1580	1340	4,7	
4	40	68	2,92	—2,75	1235	1050	4,2	
5	50	78	2,52	—2,35	1065	905	3,8	
6	60	88	2,22	—2,10	925	785	3,5	

Кроме ниток, установленных стандартами, иногда применяются хлопчатобумажные нитки повышенной прочности, например нитки типа «Корд», имеющие прочность 3000 г и вес 16 г/55 м. Эти типы ниток пока еще не стандартизованы.

Для прошивки вручную всевозможных усиленных и зашивки трюсов и веревок применяются более крепкие, грубые сорта ниток, обычно называемые суровыми. Для воздухоплавательных целей вполне подходящими являются стандарты на льняные и пеньковые рыболовные нитки кустарной крутки ОСТ 435 и 462. Более употребительными являются льняные нитки, данные которых здесь приводятся.

Таблица XXVII

Технические условия на льняные рыболовные суровые нитки. ОСТ 435

№ нитки		Средний вес 1000 м г	Средняя прочность кг	Крутка об/25 см
метр.	англ.			
14,5/2	24/2	148	2,9	150
18/2	30/2	118	2,6	170
24/2	40/2	88	2,1	190
30/2	50/2	70	1,8	210
36/2	60/2	58	1,7	230
14,5/3	24/3	221	4,3	100
18/3	30/3	177	3,9	110
24/3	40/3	132	3,2	130
30/3	50/3	105	2,7	140
36/3	60/3	88	2,5	150
14,5 4	24 4	295	5,8	75

Веса даны при влажности ниток 10%, максимальная допустимая влажность — 14%. По весу допускаемые отклонения $\pm 5\%$. По прочности неравномерность разрывов образцов допускается 10%. По крутке допускается отклонение $\pm 10\%$. Номер нитки обозначен дробно: числитель определяет номер пряжи, из которой скручена нитка, а

знаменатель показывает число скрученных нитей пряжи в нитку. Номер пряжи метрический определяет длину пряжи в метрах в 1 г веса. Английский номер определяет число мотков пряжи длиной 300 ярдов в одном английском фунте.

§ 10. КОНСТРУКТИВНЫЕ ДАННЫЕ ВЕРЕВОЧНОГО ТАКЕЛАЖА

Основным материалом всевозможных такелажных конструкций являются стальные тросы и различного рода веревки, различающиеся как по способу изготовления, так и по материалу, из которого они сделаны.

Для изготовления веревок применяются всевозможные естественные волокнистые материалы, как, например, хлопчатобумажные нитки, льняные нитки, джут, рами (индийская конопля), кокосовое волокно (копра) и т. д. Вережки, изготовленные из хлопчатобумажных ниток, очень гибки и мягки. Относительная прочность их также достаточно велика. Основным недостатком их является малое сопротивление стиранию, от которого разрываются отдельные нити и веревка размахивается. Эксплуатационная стойкость их невелика. Для ответственных деталей хлопчатобумажные веревки не применяются, а применяются там, где за веревку приходится хвататься людям: поручни, леера и т. д.

Русская пенька применяется обычно для изготовления грубых и относительно дешевых сортов веревок. Обладая большой эксплуатационной стойкостью и хорошей прочностью, пеньковые веревки довольно грубы и применяются обычно для таких деталей, как стропы подвески, поясные и бивачные веревки, гайдропы и т. д. В зависимости от климатических условий района выращивания, способа первоначальной обработки (мочки, мятья или трепанья, сушки и т. д.) пенька разбивается на большое число сортов, довольно значительно отличающихся по своим данным.

У нас в Союзе для ответственных деталей такелажа наибольшим распространением пользуются льняные веревки. Льняные веревки, значительно более мягкие, чем пеньковые, обладают более равномерным строением, большей удельной прочностью и достаточной эксплуатационной выносливостью. Льняные веревки хорошо поддаются распусканию по отдельным нитям, что часто бывает необходимо при изготовлении некоторых деталей оболочки. Так же как и пенька, льняные волокна в зависимости от условий выращивания и первоначальной обработки делятся на ряд сортов. У нас в Союзе льняные волокна разбиваются на шесть групп, причем каждые три группы разбиваются в свою очередь на 8 сортов.

Джут (бенгальская пенька) представляет собой волокна растения того же названия. Разводится джут главным образом в Ост-Индии, а также в Китае, Алжире и южных штатах США. Волокна джута довольно грубы и по своим механическим свойствам близки к свойствам пеньки. Недостатком джута является его быстрое разрушение под влиянием влаги.

В такелажном деле принята следующая номенклатура, которую необходимо строго проводить во избежание возможных недоразуме-

ний. Нить — несколько волокон, скрученных вместе, образуют нить, причем в зависимости от направления крутки нить может быть правая или левая.

Прядь — две или больше нитей, скрученных вместе, образуют прядь. Прядь всегда скручена в сторону, обратную скрутке нитей.

Веревка простого плетения — три, четыре или шесть прядей, скрученных вместе в сторону, противоположную крутке прядей, образуют веревку простого плетения.

Веревка двойного плетения — три или четыре трехпрядные веревки простого плетения, скрученные вместе в сторону, обратную крутке отдельных веревок, образуют веревку двойного плетения. Веревка, состоящая из трех веревок простого плетения, называется тройником.

Веревки двойного плетения при равных диаметрах имеют прочность, несколько меньшую, чем веревки простого плетения, но они более гибки и лучше сопротивляются износу.

Канат с сердечником — трех- или четырехпрядная веревка, у которой пряди навиваются на небольшого диаметра прямую веревку простого плетения, являющуюся сердечником. Сердечник делает канат более прочным и более округлым по сечению. При изготовлении трехпрядного каната для сердечника обычно применяется трехпрядная веревка. При четверном канате для сердечника применяется четырехпрядная веревка.

Плетение характеризуется углом закрутки нитей в пряди или прядей в веревке. Чем круче плетение, тем более жестка веревка. Жесткая веревка лучше сопротивляется изнашиванию от перетирания. Веревки мягкого плетения более удобны в обращении и часто бывают прочнее на разрыв. Выбор того или другого типа плетения определяется назначением и условиями работы веревок.

Веревкой правого плетения называется веревка, в которой пряди скручены по ходу часовой стрелки, веревки левого плетения имеют обратное направление крутки.

Бухта — длина стандартного куска веревки — в Англии и Америке принята равной 1200 футов (366 м).

Таблица XXVIII содержит характеристики веревок мягкого плетения, изготовленных из итальянской пеньки. Таблица приведена из «Руководства по обслуживанию привязных аэростатов типа «Нако» французского авиационного отдела.

Технические требования военно-воздушного флота США на веревки из итальянской пеньки для такелажей аэростатов и дирижаблей приведены в книге Эпсон и Чендлер «Свободные и привязные аэростаты», гл. XIII.

У нас в Союзе еще не существует стандарта на воздухоплавательный веревочный такелаж, почему данные, приведенные ниже в таблице XXIX, дают только общую характеристику наших веревок.

Кроме того, некоторые данные о веревочном такелаже можно найти в книге Н. П. Полозова «Баллонные материи и веревочный такелаж».

Большим применением в воздухоплавательных конструкциях пользуется шпагат (см. табл. XXX).

Номер шпагата определяется числом на 1 кг гектометров (100м) шпагата, выдержанного не менее 24 час. при относительной влажности воздуха 60—70% и температуре 16—20°.

Таблица XXVIII

Название такелажа	№	Диаметр, мм		Вес, г/м	Прочность кг
		теоретич.	максим.		
Шпагат крученный . .	1	1,2	1,3	1,27	33,1
„ „ . .	2	1,5	1,6	2,1	58,3
„ „ . .	3	1,9	2,0	3,3	92,4
„ „ . .	4	2,4	2,5	5,1	127,5
„ „ . .	5	3,0	3,2	8,1	202,5
Шнур	1	1,2	1,3	1,27	25,7
„	2	1,5	1,6	2,1	42,0
„	3	1,9	2,0	3,3	59,3
„	4	2,4	2,5	5,1	105,0
„	5	3,0	3,2	8,1	176,4
Веревка	1	3,8	4,0	12,7	235,0
„	2	4,8	5,0	21,0	338,5
„	3	6,0	6,3	33,0	561,0
„	4	7,6	8,0	50,0	850,0
„	5	9,5	10,0	83,0	1245,0
Канат пеньковый . . .	0	10,0	10,6	102,0	1560,0
„ „ . . .	1	12,0	12,7	125,0	1810,0
„ „ . . .	2	15,1	16,0	200,0	1715,0
„ „ . . .	3	19,0	20,0	320,0	4000,0
Хлоп.-бум. канат . . .	1	12,0	12,7	100,0	800,0
„ „ . . .	2	15,1	16,0	160,0	1280,0
„ „ . . .	3	19,0	20,0	250,0	2000,0

Таблица XXIX

Материал	Конструкция	Диаметр мм	Длина окружности мм	Разрывающее усилие кг	Удлинение %	Относительный вес г/м
Льняная	Четырехпрядная	7,5	24/25	210—360	12—21	50
„	„	9,4	29/30	400—440	12—20	55—61
„	„	11,0	34/35	660	14	77
„	„	14,0	44/45	870	16	—
„	„	16,0	49/50	1000	18	156
„	„	17,5	54/55	1870	22	216
„	„	20,0	59/60	1675	21	—
Хлоп.-бум.	Трехпрядная	12,0	37/38	480	—	163
„	„	60,0	190/191	1750	17	—
Джутовая	„	27,0	84/85	2780	16	—
Пеньковая	Четырехпрядная	11,0	34/35	610	14	107
„	„	12,6	39/40	800	17	117
„	„	15,0	49/45	880	25	125
Фала льн.	С пеньк. сердеч.	9,7	29/30	350	4	47
„	„	11,3	34/35	390	8	59
„	„	12,5	39/40	550	11	83
„	„	12,6	39/40	610	17	86
„	„	13,5	42/43	640	17	100

Шпагат должен быть полирован и в нем не должно быть отстающих волокон и заметных промежутков между скрученными нитками.

Таблица XXX

Технические условия на пеньковый обыкновенный шпагат ОСТ 1669

№ шпагата	Средний вес г/100 м	Допускаемое отклонение о/о	Средняя прочность кг	Неравномерность по прочности не более о/о
1,3	770	+ 10	50,0	15
3	335	+ 7	42,0	12
4	250	+ 7	32,0	12
6	165	+ 5	21,0	12
8	125	+ 5	16,0	12
11	90	+ 5	11,5	12
15	65	+ 5	8,5	12

§ 11. КОНСТРУКТИВНЫЕ ДАННЫЕ СТАЛЬНЫХ ТРОСОВ

Кроме веревочного такелажа, в конструкции воздушных судов часто применяются стальные тросы. Тросы идут на подвески гондол мягких дирижаблей, на расчалку оперения и килевой фермы, на катенарии и т. д.

Стальные тросы крутятся из тонких стальных проволочек и иногда снабжаются пеньковым сердечником.

Материалом для изготовления проволок стальных тросов служит высокосортная, горячекатаная сталь. Временное сопротивление материала проволок должно быть не ниже 180 кг/мм^2 , а у некоторых зарубежных сортов оно доходит до 300 кг/мм^2 . Проволоки, идущие на изготовление тросов, должны быть оцинкованы гальваническим способом. По методу плетения тросы разделяются на два главных типа: тросы простого плетения и тросы двойного плетения.

Трос простого плетения имеет одну центральную проволоку, представляющую собой сердечник, вокруг которого обвиты остальные проволоки, обычно 6 шт. На первый ряд проволок может навиваться следующий и т. д. Каждый последующий слой навивается в направлении, обратном предыдущему. Количество проволок во втором слое обычно 12, в третьем — 18 и т. д. Таким образом получаются тросы, состоящие из 7, 19, 37 и т. д. проволок.

Данные тросов простого плетения, нормализованных Глававиапромом, видны из таблицы XXXI.

Тросы простого плетения, имея высокую удельную прочность, очень жестки и плохо поддаются перегибанию. Заплетка этих тросов производится с трудом и обычно для надежности пропаивается. Тросы простого плетения применяются для расчалки жестких ферм. Их применение для тросов управления, подвесного такелажа (за исключением строп) и для вшивки в матерчатые конструкции не допускается.

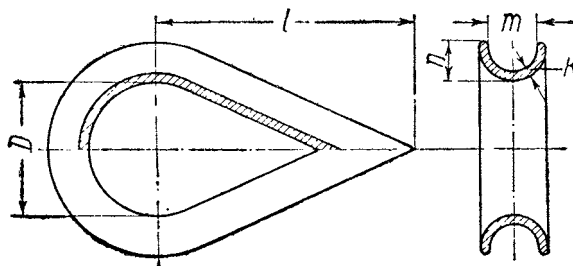
Таблица XXXI
Тросы простого плетения

Число стренг	Число проволок в стренге	Диаметр троса мм	Диаметр проволоки мм	Площадь сечения проволоки мм ²	Вес г/м	Разрывное усилие кг
1	7	1,00	0,32—0,36	0,61	6	90
1	7	1,50	0,47—0,15	1,52	12	190
1	19	2,00	0,39—0,42	2,44	23	350
1	19	2,50	0,47—0,51	3,58	33	515
1	19	3,00	0,56—0,61	5,70	48	730
1	19	3,60	0,67—0,72	7,20	64	1000
1	19	4,00	0,75—0,80	8,95	81	1275
1	37	5,00	0,67—0,72	14,00	124	2000
1	37	6,00	0,80—0,85	19,80	180	2800
1	37	7,00	0,96—1,02	28,4	260	4000
1	61	8,00	0,85—0,90	36,6	330	5250
1	61	9,00	0,96—1,02	47,00	425	6750
1	61	10,00	1,07—1,13	59,00	525	8300

Тросы двойного плетения образуются из нескольких тросов простого плетения, навитых вокруг центрального сердечника. В зависимости от материала сердечника тросы двойного плетения разделяются на семистренговые, у которых сердечником является такой же трос простого плетения, как и остальные шесть стренг, навитых вокруг него, и на тросы с мягким сердечником, у которых сердечник представляет собой пеньковую веревку, вокруг которой навиты шесть стренг из тросов простого плетения. Тросы двойного плетения семистренговые, нормализованные ВСТ 5СС, не применяются в воздухоплавательных конструкциях из-за трудности их заплетки. Наибольшим распространением благодаря своей гибкости пользуются тросы двойного плетения с мягким сердечником. Стандарт 6СС устанавливает данные таких тросов диаметром менее 6,51 мм.

§ 12. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ

К этим деталям могут быть отнесены коуши, тандеры, костыльки, люверсы и т. д.



Фиг. 211. Коуш.

Коуши (фиг. 211) служат для заделки тросов во всевозможных ушках, серьгах, кольцах и т. п. Изготавливаются коуши обычно из

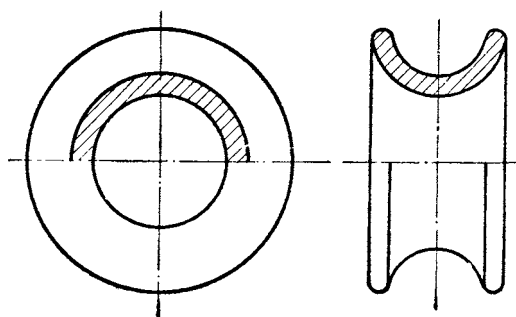
черного листового железа с временным сопротивлением на разрыв 28—38 кг/мм² и с относительным удлинением 25%. Размеры коушей установлены стандартом Авто-авио123.

Таблица XXXII
Размеры и допуски стандартных коушей

№ коуша	Под трос диаметром мм	<i>t</i> мм	<i>D</i> мм	<i>l</i> мм	<i>n</i> мм	<i>k</i> мм
2	до 2	2,2 ± 0,1	6 ± 0,5	12 ± 0,5	1,9 ± 0,3	0,8
3	2—3	3,2 ± 0,1	8 ± 0,5	16 ± 0,5	2,4 ± 0,3	0,8
4	3—4	4,2 ± 0,1	11 ± 0,5	22 ± 0,5	2,9 ± 0,3	0,8
5	4—5	5,3 ± 0,1	13 ± 0,5	26 ± 0,5	3,7 ± 0,3	0,8
6	5—6	6,3 ± 0,1	16 ± 0,5	32 ± 0,5	4,2 ± 0,3	0,8
7	6—7	7,4 ± 0,2	19 ± 0,5	38 ± 0,5	5,0 ± 0,4	1,2
8	7—8	8,4 ± 0,2	21 ± 0,5	42 ± 0,5	5,5 ± 0,4	1,2
9	8—9	9,5 ± 0,2	24 ± 0,5	48 ± 0,5	6,3 ± 0,4	1,2
10	9—10	10,5 ± 0,2	26 ± 0,5	52 ± 0,5	6,8 ± 0,5	1,5

После изготовления коуши должны быть оцинковны.

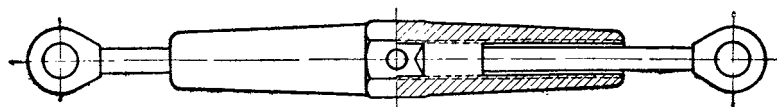
В веревочном такелаже, при необходимости скольжения одной снасти по другой, часто вместо коушей применяют кольца, изгото-



Фиг. 212. Деревянное кольцо.

вленные из латуни или твердого дерева (бука, гикори и т. д.). Размеры таких колец (фиг. 212) не нормированы.

Для регулировки тросового такелажа применяют- ся обычно тандеры (фиг. 213). Для нужд авиапро- мышленности изготавливают тандеры с хвостовиками двух типов: с ушками и с вилками. В такелажных конструкциях применяют- ся обычно хвостовики с ушками под трос с коушем. Материалом для изготовления тандеров служит: для муфт латунь с временным со- противлением на разрыв 40 кг/мм² и удлинением 20%, для хвосто-



Фиг. 213. Тандер.

виков — холодно-или горяч.катаная прутковая сталь, марок С6165, С6175 с временным сопротивлением на разрыв 65—75 кг/мм² и удлинением 14%. Число твердости 185—235 по Бринелю.

Размеры тандеров нормализованы Авто-авиастандартом 118, но в такелажных конструкциях часто приходится отступать от размеров стандарта для получения большего хода. Для этого увеличивают длину нарезанной части муфты и длину ненарезанной части стержня хвостовика, строго сохраняя все остальные нормализованные размеры.

В тандерах больших размеров, идущих на подвесной такелаж, часто заменяют высверленное в муфте для ее поворачивания отверстие запилкой на шесть граней под ключ.

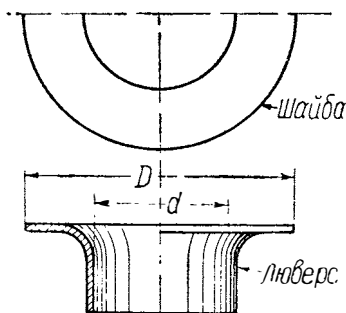
В поясах, служащих для прищиповки, применяются латунные пистоны-люверсы (фиг. 214). Люверсы до настоящего времени не стандартизованы, но наиболее ходовыми являются размеры 5/10 и 10/16. В этих обозначениях числитель указывает внутренний диаметр d трубки, а знаменатель — диаметр D в миллиметрах. В редких случаях употребляются люверсы больших размеров с диаметром D , достигающим до 35 мм.

Для различных такелажных конструкций часто применяются костыльки (фиг. 215), размеры которых еще не нормализованы, хотя костыльки и являются типовой деталью. Изготавливаются костыльки из твердого, упругого дерева, например из ясеня.

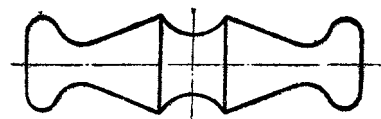
Резиновые изделия применяются в баллонных конструкциях в различных видах. Для стягивающих систем или в проводках применяются резиновые упругие шнуры. Резиновый шнур состоит из некоторого числа резиновых нитей квадратного сечения ($0,5 \times 0,5$ мм или $1,0 \times 1,0$ мм), оплетенных оболочкой из хлопчатобумажных нитей.

Такой шнур обладает большим удлинением, достигающим до 400—500% первоначальной длины. Резиновые шнуры обозначаются по своему диаметру в нерастянутом состоянии. От диаметра 6 мм и выше (8 мм, 10 мм, 12 мм, 18 мм) применяются резиновые шнуры, идущие на авиационные амортизаторы. Для ряда стягивающих систем приходится применять более слабые шнуры меньших диаметров, характеристики которых приходится устанавливать опытным путем. При подборе шнуров нужно обращать внимание на равномерность растяжения, сохранение упругих свойств при низких температурах и на качество оплетки шнура.

Для подводки давления к манометрам гондолы применяются резиновые трубки. Размеры обычно применяемых трубок: 4×6 мм, 6×8 и 8×10 мм. Качество резины должно обеспечивать сохранение свободного сечения трубки при возможных перегибах. Для лучшей работы желательно применение трубок больших диаметров, но, с дру-

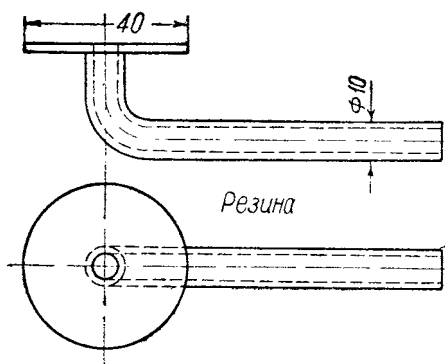


Фиг. 214. Люверс



Фиг. 215. Костылек.

гой стороны, тут необходимо считаться с увеличением веса, так как длина манометрических трубок на дирижаблях средних кубатур измеряется сотнями метров. При соединении манометрических трубок к оболочкам производится часто с помощью специальных приемников (фиг. 216), изготовленных из той же резины и имеющих те же диаметры, что и трубки. Соединение манометрических трубок с трубками приемника производится посредством наведения этих трубок на короткие металлические трубки, имеющие наружный диаметр, несколько больший внутреннего диаметра трубок.



Фиг. 216. Приемник давления.

Для различных прокладок, фланцев и т. д. применяется листовая резина различных толщин и сортов. Здесь также надо выбирать из имеющихся материалов то, что будет наиболее подходящим в данном случае.

*Редактор П. Т. Калиновский.
Техн. редактор А. Н. Савари.*

Сдано в набор 11/XI 1935 г. Подписано к печати 27/II 1936 г. Издат. № 71. Индекс 40-5-2. Тираж 1000. Уполномоч. Главлита № В-35550. Заказ № 31:2. Авт. дог. № 62. Формат бумаги 62×94₁₆ см., печ. л. 23¹/₂ Учет.-авт. л. 26,45.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

<i>Стр.</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Должно быть</i>
45	17 снизу	σ_1	σ_2
122	Подписи под фиг. 70а и 70б переставить местами		
170	Формула 169	$= r \frac{\alpha}{2};$	$= r \cdot \cos \frac{\alpha}{2};$

Цена 5 р., пер. 1 р.

А—40—5—2