

Н. П. ПОЛОЗОВ

АЭРОСТАТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ



Н. П. ПОЛОЗОВ

АЭРОСТАТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ



ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа имеет целью дать необходимые сведения по аэростатным материалам для инженеров-механиков и практиков, работающих в области воздухоплавания. Работа не рассчитана на специалистов текстильного и резинового производства, поэтому сведения в этой области приведены в кратком изложении, достаточном для инженеров-механиков. Развитие отечественных аэростатных материалов нельзя рассматривать в отрыве от развития воздухоплавания в целом, краткое изложение которого приводится ниже.

Отечественное воздухоплавание получило свое основное развитие только в советский период. До революции материальная часть воздухоплавания была преимущественно заграничного происхождения или же изготовлялась из материалов, ввозимых из зарубежных стран.

Русская история исключительно богата именами величайших ученых, талантливых самоучек и конструкторов, связанных с созданием и развитием воздухоплавания и авиации. Имя первого русского воздухоплователя Крякутного известно тем, что он в Рязани в 1731 г., за 52 года до открытия воздухоплавания за границей, первый поднялся в воздух на построенном им воздушном шаре. Это указывает на несомненный приоритет нашей Родины в изобретении воздушного шара. Россия — родина воздухоплавания.

Имена М. В. Ломоносова, Д. И. Менделеева, Н. Е. Жуковского, К. Э. Циолковского, С. А. Чаплыгина, А. Ф. Можайского, а в парашютостроении Г. Е. Котельникова и многих других известны советским людям и окружены вниманием и любовью каждого советского патриота.

Рутинная и косность царских чиновников тормозили развитие науки и техники в нашей стране. Многие замечательные изобретения русских людей получили свое признание много лет спустя.

Очень много наших открытий и изобретений исчезало и появлялось вновь уже под иностранной маркой.

Великая Октябрьская социалистическая революция освободила навсегда советских людей от эксплуатации и открыла широкий простор для творческого труда советских людей. Вступил в действие основной экономический закон социализма, открытый великим Сталиным. Под руководством Коммунистической партии в нашей стране построено социалистическое общество.

Жалкое наследие царского и временного правительства, скудная техника, к тому же почти разрушенная за период первой империалистической войны, не могли служить базой для развертывания социалистического производства. В области воздухоплавательной техники остались

немногочисленные объекты, главным образом, привязные аэростаты устаревшей конструкции с устаревшей материальной частью наземного обслуживания, и несмотря на это советские патриоты в гражданскую войну успешно применяли аэростаты наблюдения на суше, на речных флотилиях, на бронепоездах.

Закончился восстановительный период развития нашей Родины. Советские пятилетки обеспечили широкий простор производству во всех областях народного хозяйства.

Перед работниками в области воздухоплавания была поставлена задача создания новой, отечественной материальной части воздухоплавания, превосходящей заграничные образцы. Эта задача требовала большой творческой работы конструкторов и создания новых аэростатных материалов для изготовления воздухоплавательных объектов. Советские ученые и специалисты с честью выполнили эту задачу. Первый советский дирижабль «Московский Химик-Резинщик» спроектировал известный советский ученый Н. В. Фомин, воспитавший немало советских специалистов в области воздухоплавания. Успехи в проектировании отечественных управляемых и неуправляемых аэростатов принадлежат ряду советских конструкторов, создавших аэростаты, вполне оправдавшие себя в годы Великой Отечественной войны. Творческие работы известного советского воздухоплователя и физика С. И. Троицкого позволили развить наши научные исследования в полетах по углубленному изучению физических свойств атмосферы, по вопросам электризации оболочек и многих других.

Наши всемирно известные полеты в стратосферу совершены на отечественной материальной части, построенной коллективом советских специалистов различных профессий. Полеты в стратосферу могли быть выполнены советскими патриотами потому, что все работы в этой области были окружены постоянным вниманием и заботой Центрального Комитета Коммунистической партии Советского Союза и Советского правительства. В 1933 году полет стратостата «СССР-1» до высоты 19000 м позволил установить мировой рекорд по высоте полета и произвести много научных исследований, внесших существенные коррективы в науку о стратосфере. Полет в 1934 году Федосеенко, Васенко и Усыскина до высоты более 22000 м утвердил наш новый мировой рекорд по высоте полета. Кроме того, в течение этого периода и позже были выполнены многочисленные полеты в субстратосферу в открытой и герметической гондолах и в тропосфере на дальность и продолжительность, основной целью которых ставились научные исследования, и завоевавшие несомненный приоритет нашей Родине. В результате этих достижений в таблице Международной авиационной федерации¹ (ФАИ) по мировым рекордам произошли существенные изменения в пользу нашей страны.

В годы первой пятилетки было создано отечественное парашютостроение. Парашютный спорт является любимым спортом нашей советской молодежи. Одним из талантливых советских конструкторов по парашютам является Н. А. Лобанов, который создал целый ряд конструкций парашютов, безотказно действующих и заслуживших большой авторитет у наших спортсменов. Большой вклад в науку о парашютах внес доктор физико-математических наук Х. А. Рахматулин, на работах которого воспитываются наши молодые специалисты.

¹ Центральный аэроклуб СССР вступил в число членов ФАИ в 1936 году. До этого многие рекордные полеты, проведенные в СССР, не регистрировались в ФАИ.

Для достижения крупных успехов в области воздухоплавания и парашютов необходимо было предварительно выполнить научные и исследовательские работы и в области аэростатных материалов, на базе которых могла бы быть построена первоклассная материальная часть. Эту задачу с честью выполнили коллективы наших научных учреждений, наши ученые и практики — новаторы производства.

Одним из важнейших достижений в области создания новых материалов было получение отечественного синтетического каучука, честь открытия которого принадлежит нашему советскому академику С. В. Лебедеву. Советским правительством еще в 1926 году был объявлен конкурс на лучший способ получения синтетического каучука. 27 декабря 1927 года С. В. Лебедев представил в Совет Народных Комиссаров Союза ССР первые два килограмма, созданного им в результате многолетних трудов, синтетического отечественного каучука и технологию его производства. Менее чем через пять лет после этого у нас уже существовал ряд заводов для массового выпуска синтетического каучука по рецепту С. В. Лебедева. Знаменательно, что открытие С. В. Лебедева уже в первую пятилетку было успешно претворено в жизнь. Это могло быть достигнуто только в социалистическом обществе, где неустанным вниманием Коммунистической партии обеспечивалось практическое применение крупнейших достижений советских ученых.

С получением отечественного синтетического каучука наша Родина навсегда освободилась от заграничной зависимости в этом важнейшем для народного хозяйства продукте. С получением отечественного синтетического каучука все баллонные материалы для аэростатов и дирижаблей стали изготавливаться исключительно с его применением, причем по качеству они намного превосходят применяемые прежде материалы на натуральном каучуке.

Для изготовления баллонных материалов, кроме высококачественного каучука, служащего газодержащим слоем, необходима ткань, преимущественно хлопчатобумажная, с определенными механическими свойствами. Для получения этой ткани требуется хлопок высокого качества и высокая техника для изготовления из него ткани. В первую и вторую пятилетки необходимый хлопок был получен, причем были использованы мичуринские методы селекции новых сортов хлопчатника, а замечательная работа наших текстильщиков — стахановцев в короткие сроки позволила получить ткань, вполне удовлетворяющую современным техническим требованиям. Крупные работы были выполнены нашими специалистами по конструированию и изготовлению резиновых амортизаторов. В этой области интересны работы наших научных учреждений по получению резиновых амортизаторов с повышенными морозостойкими свойствами.

В очень короткие сроки, еще в годы первой пятилетки, наша промышленность сумела создать аэростатные тросы (проволочные канаты) настолько высокого качества, что уже в начале тридцатых годов тросы отечественного производства намного превосходили заграничные.

Достижения советского народа и наших специалистов по воздухоплаванию в довоенные пятилетки особенно получили свое авторитетное подтверждение в Великую Отечественную войну. В защите Родины советская воздухоплавательная техника в опытных руках наших героических воинов успешно выдержала суровое испытание.

Итоги первой послевоенной пятилетки с неоспоримой убедительностью показали, что советский народ под руководством Коммунистической партии Советского Союза не только сумел восстановить народное хозяй-

ство, пострадавшее от войны, но обеспечил дальнейшее развитие всех отраслей народного хозяйства.

XIX съезд Коммунистической партии Советского Союза дал директивы по пятому пятилетнему плану и наметил ясный путь к дальнейшему постепенному переходу от социализма к коммунизму.

Директивы XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану дают замечательные цифры по росту производства материалов, которые применяются в воздухоплавании и парашютостроении.

Директивы предусматривают творческую работу наших научно-исследовательских учреждений и опытных станций на основе мичуринского учения по выведению и внедрению более продуктивных и рано созревающих сортов хлопчатника и ставят задачей увеличение производства хлопка-сырца на 55—65 %, а льна-волокна на 40—50 %.

В химической промышленности производство синтетического каучука увеличится на 82 % по сравнению с 1950 г. Также увеличится и производство пластических масс. Производство хлопчатобумажных тканей в 1955 г. возрастет по сравнению с 1950 годом на 61 %. Увеличивается производство шелковых тканей и других материалов.

Приведенные цифры показывают, что производство воздухоплавательных и парашютных объектов полностью обеспечено необходимыми для их изготовления материалами.

Настоящая работа содержит шесть глав, излагающих последовательно: волокнистые вещества, краткую технологию изготовления аэростатных материалов, применение прикладной теории упругости к аэростатным материалам, специальные испытания аэростатных материалов, нормы забракования и сроки службы аэростатных материалов и испытания материалов в полевых условиях.

В работе использованы труды крупных советских специалистов, изданные за последние годы, перечень которых приведен в конце настоящей работы. Кроме работ, изданных за последние годы, использованы и более ранние, как например, работа Н. А. Архангельского, изданная в 1933 г., где автор в научной и вполне доступной форме излагает учение о волокнах.

В области исследований газопроницаемости баллонных материй и создания стройной теории газопроницаемости приоритет принадлежит нашему советскому ученому С. А. Рейтлингеру. В его труде «Газопроницаемость высокомолекулярных соединений» (Успехи химии, изд. АН СССР, 1951 г.) изложена общая теория газопроницаемости, основы которой излагаются в настоящей работе.

В главе «Краткая технология изготовления аэростатных материалов» даны лишь необходимые сведения о производственных процессах с целью общего ознакомления с ними.

В главе «Применение прикладной теории упругости к аэростатным материалам» даны некоторые новые понятия о механических свойствах этих материалов. К ним относится рассмотрение вопроса о коэффициенте поперечного сжатия баллонных материй, причем рассматривается не относительно изменение объема при растяжении, а относительное изменение поверхности при растяжении полосок, так как толщина ткани принята за единицу. Несколько иначе рассматривается вопрос о снятии нормальных характеристик баллонных материй и тканей, предложен новый упрощенный метод для определения модулей упругости баллонных материй. Для определения критического касательного напряжения в оболочках дан более строгий вывод, чем это приводилось в прежних изданиях, рассматривавших этот вопрос. Механические свойства

резиновых амортизаторов: предел пропорциональности, модуль упругости и коэффициент поперечного сжатия приведены в настоящей работе с новыми количественными показателями, отличными от показателей, приводимых в справочниках. Эти результаты получены на основании большого числа экспериментальных исследований. В этой же главе разобраны некоторые вопросы о внезапно приложенных к парашютным стропам нагрузках.

В главе «Специальные испытания аэростатных материалов» рассмотрены общие вопросы воздухопроницаемости тканей и газопроницаемости баллонных материй, основанные на теории проницаемости, разработанной в Советском Союзе, а также вопросы определения чистоты газа в оболочках и пределы взрывоопасности в оболочках, с большой полнотой разработанные нашими учеными. В этом разделе рекомендован новый метод определения средней проницаемости оболочек на основании суточной потери чистоты газа и указаны приемы для определения этой чистоты в оболочках и при отсутствии приборов.

Последние главы посвящены вопросам о примерных сроках службы аэростатных материалов и нормах их забракования, а также вопросам об испытаниях материалов в полевых условиях. Результаты, приведенные в этих главах, основаны исключительно на экспериментальных работах и опыте наших советских специалистов.

Настоящая работа могла быть выполнена только потому, что автору в течение десятков лет в наш советский период была предоставлена полная возможность в выполнении всех экспериментальных и часто дорогостоящих работ. Коллектив советских ученых и специалистов всегда шел навстречу автору, давая ценные указания и делясь своим опытом.

Г л а в а I

ВОЛОКНИСТЫЕ ВЕЩЕСТВА

Для изготовления воздухоплавательных аппаратов и парашютов необходимо иметь легкие, прочные и экономически выгодные волокнистые вещества.

Волокнистые вещества разделяются на натуральные и искусственные. К натуральным волокнам, на основе которых изготавливаются изделия, имеющие применение в воздухоплавании и в парашютном деле, относятся: хлопок, лен, пенька, сизаль, рами, шелк и другие. Большинство натуральных волокон имеет растительное происхождение, некоторые, например натуральный шелк и шерсть, — животное происхождение. К искусственным волокнистым веществам относятся нити из капрона, вискозный и ацетатный шелк, волокно «орлон», стеклянные нити и другие.

По количеству потребления хлопок занимает первое место среди текстильных волокон. В мировом производстве продукция хлопчатобумажных тканей превышает 50% всей продукции текстильной промышленности.

В дореволюционное время в России хлопок культивировался в ограниченном количестве, а волокно было низкого качества. Хлопководство было преимущественно сосредоточено в Средней Азии.

После Великой Октябрьской социалистической революции хлопководство в нашей стране стало развиваться быстрыми темпами. Неизмеримо выросло хлопководство в районах Средней Азии и Закавказья, образовались новые районы хлопководства в Украинской ССР, РСФСР, Молдавской ССР. После первой пятилетки наша Родина впервые полностью освободилась от ввоза заграничного хлопка. Хлопкоочистительные заводы типа мелких полукустарных предприятий были заменены социалистическими предприятиями с передовой советской техникой. Вторая пятилетка обеспечила появление и использование новых сортов хлопка, характеризующегося наличием длинного и тонкого волокна. В третьей пятилетке продолжался неуклонный рост нашего отечественного хлопководства. Послевоенный пятилетний план восстановления и развития народного хозяйства СССР в области превышения довоенного уровня хлопководства был успешно выполнен. Уже к концу 1950 г. хлопкоочистительная промышленность достигла крупных успехов в области повышения производительности труда, внедрения новой техники и прогрессивной технологии.

Исторический XIX съезд Коммунистической партии Советского Союза одобрил политическую линию и практическую работу ЦК ВКП(б).

В отчетном докладе Г. М. Маленкова¹ и докладе М. З. Сабурова² указывалось, что в 1951 году валовая продукция хлопка-сырца превысила довоенный уровень на 46%, а новый пятилетний план предусматривает увеличение производства хлопка-сырца на 55—65% и льна-волокна на 40—50%. Этот же план предусматривает внедрение в производство более продуктивных и рано созревающих сортов хлопчатника, а также создание новых сортов сельскохозяйственных культур на орошаемых землях. План предусматривает дальнейшее развитие советской агробиологии на основе мичуринского учения и широкое внедрение в колхозы и совхозы научных достижений в сельском хозяйстве. Все это говорит о том, что наша Родина в области развития хлопководства и льноводства бесспорно опередила все капиталистические страны как в качественном, так в количественном отношении.

На высоком уровне находится в СССР и состояние шелковой промышленности. Из истории шелководства известно, что в России шелк был известен уже в X веке. При Петре I в России было 10 шелкоткацких фабрик, а во второй половине XVIII века их число уже достигло 44. В 1809 году в России работали 194 фабрики, из них 175 в Москве и в Московской губернии. В дореволюционное время русская шелковая промышленность не смогла освоить размотку коконов, в связи с чем почти весь сбор коконов из Средней Азии и Закавказья отправлялся для размотки за границу. Только после Великой Октябрьской социалистической революции наша шелковая промышленность получила, наконец, полную сырьевую независимость. В настоящее время в Советском Союзе имеется широко развитая шелковая промышленность, оснащенная передовой советской техникой. Новаторы шелководства обеспечивают высокое качество шелка-сырца и дальнейшее продвижение шелководства на север. Кроме производства натурального шелка, в СССР с каждым годом развивается и производство искусственного шелка; освоены и продолжают осваиваться новые синтетические волокна, имеющие важное значение для изготовления технических изделий. Партия и Правительство всегда относились с особой заботой к развитию в нашей стране всех видов волокнистых веществ, в связи с чем Советский Союз навсегда освободился от всякой иностранной зависимости в этой области.

1. ХЛОПОК

Хлопок добывается из растения — хлопчатника, произрастающего примерно между 35° южной широты и около 50° северной широты. По своему внешнему виду хлопчатник представляет собой кустарниковое растение высотой около метра (рис. 1).

Посев хлопчатника производится в период от марта до мая месяца. Уже через два месяца после посева хлопчатник достигает 60—90 см высоты, на растении появляются почки, из которых в дальнейшем раскрываются цветы. После опадания цветов завязываются коробочки; каждая коробочка разделена перегородками на 4 или 5 гнезд, в которых помещается несколько семян. Семена окружены длинными тонкими волосками, которые и представляют собой хлопок.

После созревания коробочки раскрываются, обнаруживая волокни-

¹ Г. М. Маленков, Отчетный доклад XIX съезду партии о работе Центрального Комитета ВКП(б).

² М. З. Сабуров, Доклад о директивах XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 годы.

стую массу хлопка. На рис. 2 показаны цветок и несозревшая и раскрывшаяся коробочки хлопчатника.

Волокно представляет собой сильно вытянутую в длину клетку верхнего эпидермиса — наружной оболочки семени. Волокно имеет внутрен-



Рис. 1. Куст хлопчатника, ветвь хлопчатника.

нюю полость в виде канала, который открыт в месте крепления волокна к семени и закрыт с другого конца. При развитии волокна канал заполнен протоплазмой. Волокно заканчивает свое развитие в длину примерно в месячный срок.

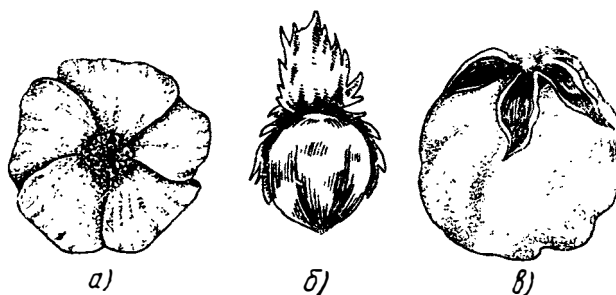


Рис. 2. Развитие коробочки хлопчатника:

а — цветок, б — несозревшая коробочка, в — раскрывшаяся коробочка.

В период развития волокна и коробочки во внутренней полости волокна нарастают слои клетчатки — целлюлозы, а по мере роста канал постепенно суживается. На рис. 3 показаны волокна в период начала роста и семя хлопчатника, покрытое созревшими волокнами хлопка.

Отдельные хлопковые волокна имеют различную длину. Эта длина колеблется от 18 до 50 мм. Особые сорта имеют волокна длиной и более 50 мм. Волокно хлопка имеет сложное строение. По внешнему виду волокно может иметь форму сплюсненной трубки, закрученной поперемен-

но то в одну, то в другую сторону, или иметь вид ленты без всякой извитости. По степени извитости волокна хлопка могут иметь и промежуточные формы. В первый период развития волокно имеет в поперечном сечении форму кольца, при дальнейшем развитии поперечное сечение волок-

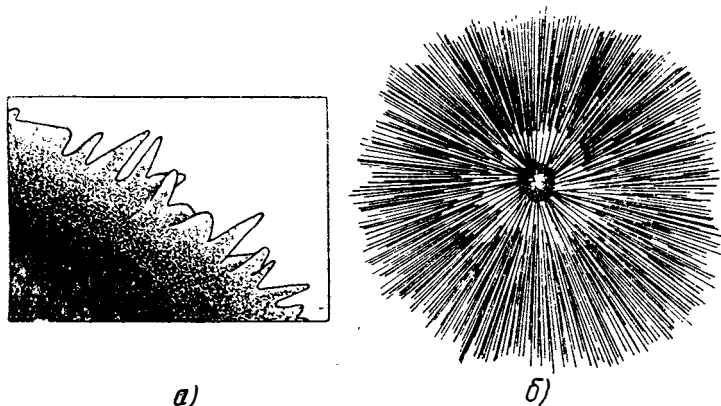


Рис. 3. Начало роста волокна, семя хлопчатника (летучка).

на может иметь весьма неправильную форму. На рис. 4 показаны внешний вид и поперечное сечение хлопковых волокон.

Волокна хлопка в зависимости от степени созревания имеют различные технические свойства. Волокна без извитости, например, волокна первой стадии развития, отличаются плохой прядильной способностью в связи с небольшим сопротивлением разрыву. Волокна вполне зрелые или перезрелые

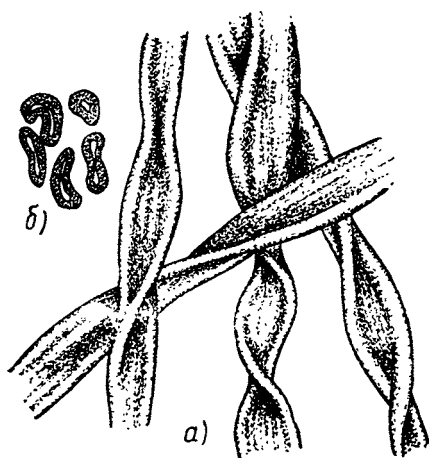


Рис. 4. Волокна хлопка:
а — продольный вид, б — поперечный разрез.

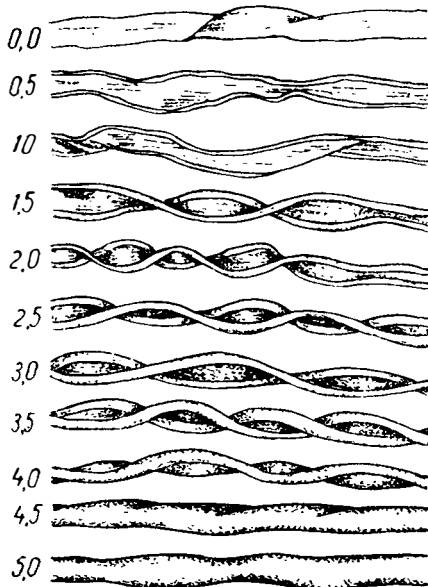


Рис. 5. Шкала степеней зрелости.

имеют большую крепость, но, благодаря цилиндрической форме, имеют пониженное сцепление друг с другом. Волокна средней степени зрелости являются наилучшими, так как, благодаря лентообразной

форме, наличию извитости и загнутых краев, они характеризуются большим трением между волокнами, что способствует получению более крепкой пряжи. На рис. 5 показана шкала степеней зрелости волокон с коэффициентами зрелости от 0 до 5. Лучшие волокна по этой шкале имеют коэффициент зрелости от 2 до 3,5.

Сборка с коробочек так называемого хлопка-сырца производится

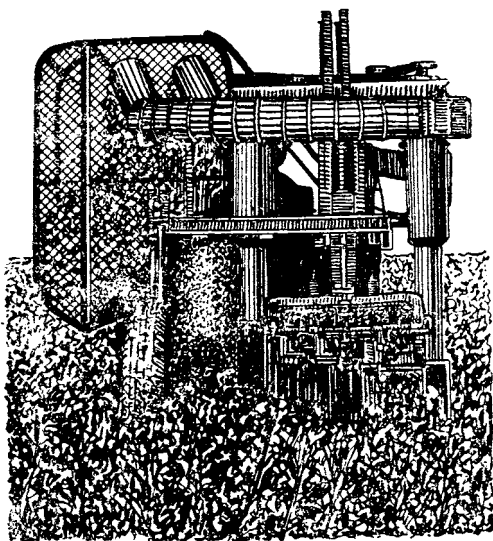


Рис. 6. Хлопкоуборочная машина.

или руками, или с помощью машин. Лучший, наиболее вызревший и однородный хлопок-сырец собирается до наступления заморозков. Ручной сбор хлопка представляет довольно трудоемкий процесс, поэтому в последнее время он вытесняется сбором хлопка с помощью хлопкоуборочных машин отечественного производства. Внешний вид хлопкоуборочной машины показан на рис. 6.

Заготовка хлопка-сырца для хлопкоочистительных заводов осуществляется хлопкозаготовительными пунктами. На хлопкоочистительных заводах производится отделение семян, хлопка-волокна и хлопкового пуха, выпуск технических семян для маслосеменной промышленности, а также и посевных семян для колхозов. От-

деление волокна от семян производится на отечественных волокноотделителях валичного или пильного типа: на первых перерабатывается тонковолокнистый хлопок-сырец, на вторых — средневолокнистый.

Для хранения и транспортировки очищенного волокна необходимо его уплотнить (спрессовать). Наши современные прессы отечественной конструкции позволяют выпускать кипы хлопка плотностью до 650 кг/м^3 . Спрессованный хлопок требует для хранения меньший объем складских помещений, а при перевозке кип может быть полностью использована грузоподъемность железнодорожных вагонов.

Качество хлопкового волокна весьма существенно зависит от его длины. Обычно, чем длиннее волокно хлопка, тем оно и тоньше, что дополнительно повышает ценность такого волокна. Из тонкого волокна можно изготовить более тонкую нить, причем такая нить будет прочнее, чем нить, составленная из более грубых волокон. Извитость волокон, как указывалось выше, имеет также большое значение для получения высококачественной пряжи.

Для технических тканей, предназначенных для изготовления баллонных материй и парашютов, употребляются длинные и тонкие волокна хлопка, имеющие длину не менее 40 мм и толщину не более 20 м, преимущественно валичной очистки. Предел прочности таких отборных волокон обычно составляет в среднем 37 кг/мм^2 . Удельный вес хлопкового волокна колеблется в пределах 1,47—1,55 г/см³.

Хлопковое волокно состоит на 90—95 % из целлюлозы, относящейся к углеводам. Состав целлюлозы выражается общей формулой $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$. При относительной влажности воздуха, порядка 75—80 %, предел прочности хлопкового волокна несколько увеличивается по сравнению с пре-

делом прочности при влажности в 60%, а далее, с увеличением влажности воздуха, несколько падает. При температурах порядка 160—170°C начинается частичное разложение хлопка. Разбавленные растворы едких щелочей (едкий натр и калий) или щелочных солей (сода, поташ) не разрушают волокно даже при высоких температурах, но при кипячении хлопка в щелоках в присутствии воздуха наблюдается некоторое окисление целлюлозы хлопка с понижением предела прочности волокна. Крепкие растворы щелочей изменяют свойства хлопка. Волокна разбухают, каналы сужаются, извитость пропадает и волокна приобретают сильный блеск. Подобная обработка, применяемая для пряжи и тканей, называется мерсеризацией. Неорганические кислоты разрушают хлопок, органические кислоты не действуют на хлопковое волокно.

Солнечные лучи действуют на хлопковое волокно разрушительным образом, при этом уменьшаются прочность, растяжимость и вес волокна.

2. Лен

Наша Родина занимает первое место по мировому сбору льна. Еще в тридцатых годах нашего столетия посевная площадь льна в СССР превышала в пять раз посевную площадь, занятую льном за границей. Главные льноводческие районы расположены в РСФСР (около 90% всего сбора) и в БССР (около 10% всего сбора).

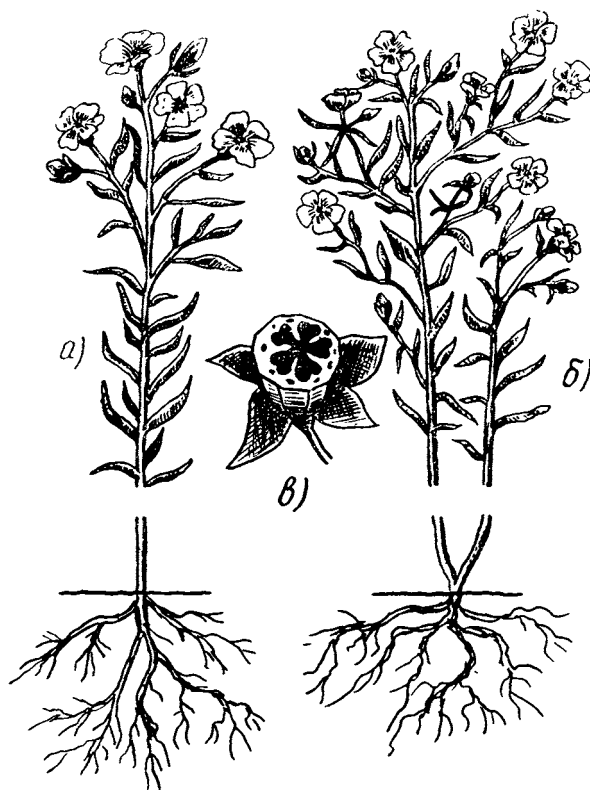


Рис. 7. Лен:

а — лен-долгунец, б — кудряш, в — семенная коробочка.

Лен — однолетнее травянистое растение, имеющее прямой, разветвляющийся только в верхней части растения стебель (рис. 7). Длина стебля составляет от 30 до 100 см.

Цветок льна после отцветания превращается в коробочку с семенами, имеющую пять створок. Льняное волокно находится в лубяной части стебля растения.

Лубяная часть расположена непосредственно под верхним наружным покровом стебля (рис. 8), далее следует камбиальный слой и, наконец, древесина, образующая центральную часть стебля.

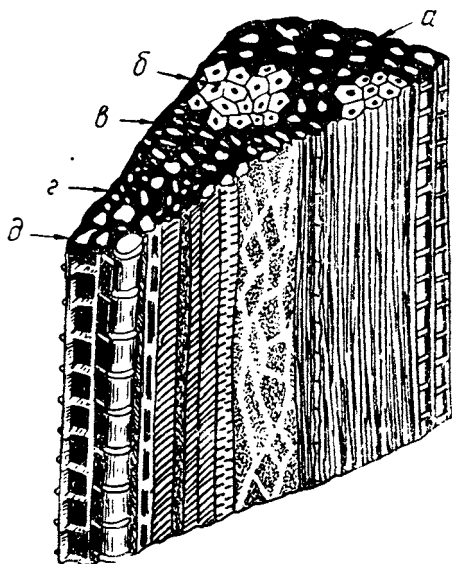


Рис. 8. Разрез стебля льна:
а — кожный покров (эпидермис), б — лубяной слой камбия, в и г — древесина, д — сердцевина.

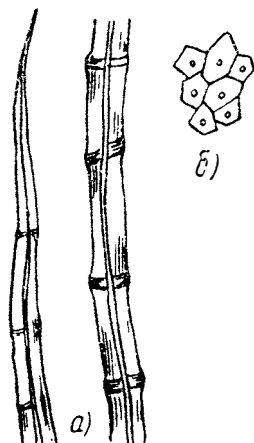


Рис. 9. Волокна льна:
а — продольный вид, б — разрез пучка в волокне.

В льноводстве различают два вида льна: лен-долгунец и лен-куд-ряш. Лен-долгунец, имеющий длинный тонкий стебель, разводится, главным образом, с целью получения волокна.

Обычно посев семян льна-долгунца производится с конца апреля до конца июня. Лен во время своего роста требует ухода, который заключается в удалении сорных трав и борьбе с вредителями льна.

Уборка льна производится после созревания семян в коробочках, когда стебель растения приобретает ровный желтый цвет. В царской России уборка льна производилась исключительно ручным способом, заключавшимся в выдергивании руками стеблей льна. Выдернутый и связанный в небольшие снопы лен оставался для просушки в поле или в сараях. После просушки семенные головки отделялись от стеблей и дробились на специальных валках с целью получения льняного семени.

Солома, оставшаяся после отделения головок, называется трестой. Треста сортируется по длине и толщине стеблей с целью получения более однородного волокна. Чтобы выделить волокно из стебля, производят мочку тресты; во время этой операции вещества, склеивающие лубяные волокна, разрушаются. Прежде в полевых условиях различали росяную мочку, в результате которой получался лен-стланец с жестким

грубым волокном, и водяную мочку, производившуюся в реках или ямах, при которой получалось волокно более высокого качества. После мочки лен высушивается и подвергается трепанию, с целью отделения волокон от древесинной части стебля (кострики). Трепание льна производилось ручным способом.

В настоящее время в нашем социалистическом хозяйстве внедрен машинный способ уборки и обработки льна. Уборку производят с помощью специальных льнотеребильных машин, мочка льна производится фабричным способом в больших котлах, позволяющих получать волокно более высокого качества. Мятье и трепание льна производятся машинным способом, который является в настоящее время основным при обработке льна-волокна.

Волокно льна, полученное после трепания, называется техническим волокном. Его длина колеблется от 200 до 1000 мм, а толщина — от 200 до 225 м.

Техническое волокно состоит из многих мелких клеток, так называемых элементарных волокон. По своей форме льняное волокно представляет собою цилиндр, имеющий посередине тонкий канал (рис. 9). Длина элементарных волокон колеблется в пределах 5—60 мм, а толщина — в пределах 12—15 м. Предел прочности технического волокна составляет около 35 кг/мм², для элементарного волокна предел прочности составляет 60 кг/мм². Удельный вес льняного волокна равен 1,45 г/см³.

3. Конопля

Конопля представляет собой однолетнее двудомное растение. Мужские особи конопли называются поскосью, женские особи — пенькой. На рис. 10 показан внешний вид конопли.

Волокно пеньки по качеству выше волокна поскони, в связи с чем основной целью коноплеводства является разведение пеньки. В составе пенькового волокна содержится 75—77% целлюлозы. Коноплю сеют в мае, а сбор конопли производится



Рис. 10. Конопля.

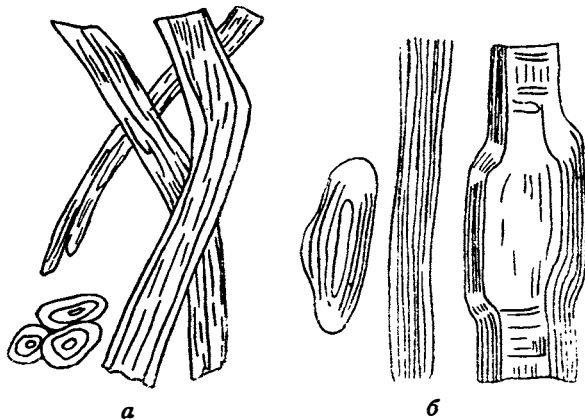


Рис. 11. Волокна:
а — конопли, б — рамы.

через 3—4 месяца после посева. Мужские особи выдергивают после периода опыления, а женские — в период полного созревания семян.

Собранные стебли конопля обмолачивают, полученную солому подвергают вымачиванию, а затем высушиванию. Просушенная солома, называемая пенькой-сырцом, обрабатывается на трепальных машинах и прочесывается. Полученная таким образом пенька называется трепаной или чесаной. Волокна конопля очень похожи на волокна льна. Отличительной чертой волокна пеньки является тупой вилкообразный раздвоенный закругленный конец (рис. 11, а).

Длина элементарного волокна пеньки колеблется от 13 до 60 мм, а длина технического волокна составляет 100—200 см. Предел прочности элементарного волокна — 45—90 кг/мм², технического — 45 кг/мм². Удельный вес волокна пеньки — 1,48 г/см³.

По сырьевым ресурсам пеньки СССР стоит на первом месте в мире. Пенька находит применение в аэростатостроении для изготовления веревок (гайдропы).

4. Другие растительные волокна

Из других растительных волокон, которые могут найти применение в аэростатостроении, следует отметить волокна рами и кендыря.

Рами (китайская крапива) — многолетнее кустарниковое растение. В СССР рами культивируется в Грузинской ССР. Волокна рами расположены в лубяном слое стебля. Собранный с растения луб обрабатывают кипячением в слабом щелочном растворе, далее отбеливают, промывают и сушат. Обработанные волокна рами становятся мягкими и шелковистыми. В состав волокна рами входит до 78% целлюлозы. Элементарное волокно рами имеет форму плоской ленты с широким каналом и тонкими стенками (рис. 11, б). Длина волокна колеблется в широких пределах (от 10 до 400 мм). Наиболее длинные волокна находятся в средней и нижней частях стебля. Предел прочности волокна составляет 105—108 кг/мм², толщина колеблется в пределах от 10 до 45 м, относительное удлинение при разрыве равно 5%, удельный вес волокна — 1,52 г/см³. В аэростатостроении рами может быть использовано для изготовления веревок.

Кендырь — многолетнее растение. В СССР кендырь встречается в диком виде в юго-восточных районах страны вблизи рек. Кендырь используется местным населением для получения волокна, из которого изготавливаются пряжа и нитки для рыболовных сетей. Кендырь обладает хорошими противогнильными свойствами. Длина волокна кендыря достигает 20—50 мм при толщине от 28 до 40 м. Предел прочности технического волокна превышает 100 кг/мм². Удельный вес волокна равен 1,5 г/см³.

5. Натуральный шелк

Нити натурального шелка вырабатываются гусеницей бабочки тутового шелкопряда. Бабочка тутового шелкопряда летом откладывает яйца (грены), из которых следующей весной выходят гусеницы. Гусеница быстро растет, уничтожая большое количество листа шелковицы, и во время своего роста четыре раза линяет. Через 30 дней гусеница выпускает шелковую нить и завивается в кокон, предохраняющий заключенную в коконе неподвижную куколку от воздействия атмосферных условий. В коконе куколка развивается в бабочку, которая выходит из ко-

кона. На рис. 12 и 13 показан внешний вид грены, шелкового червя, кокона и бабочки.

Гусеницы питаются листьями шелковицы или тутового дерева (рис. 14).

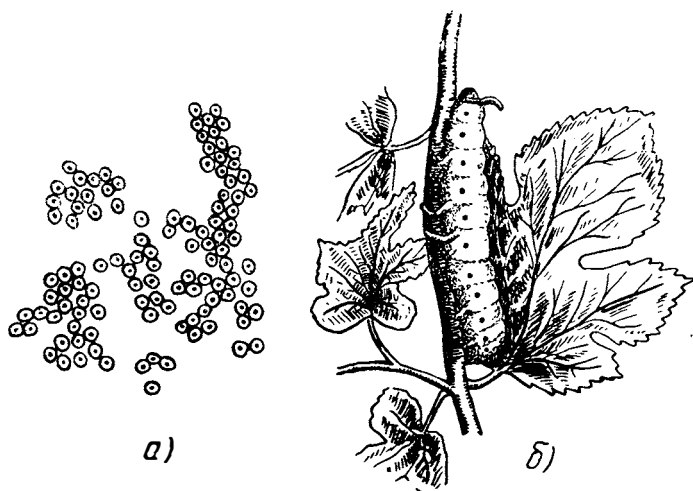


Рис. 12. Грена, шелкоичный червь.

Наибольшее распространение имеет белая шелковица, как наиболее морозоустойчивая (до -30°). Продвижение шелководства на север имеет важное значение для расширения районов шелководства в СССР. В нашей стране культура шелковицы возможна до широт Ярославля и даже севернее.

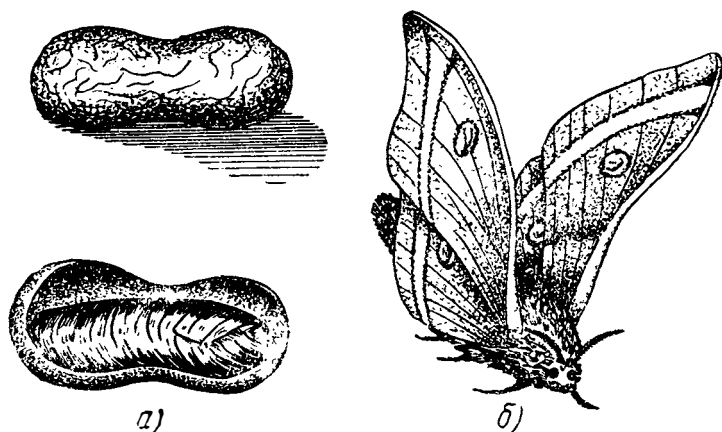


Рис. 13. Коконь, бабочка.

Основной задачей шелководства является получение высококачественных коконов, при размотке которых получается шелковая нить. Качество шелковой нити зависит от условий жизни и режима питания гусеницы тутового шелкопряда. Внутренние органы гусеницы тутового шелкопряда представляют собой своеобразную «фабрику». Особую роль в этой «фабрике» играет шелкоотделительный аппарат, вырабатывающий

исходное вещество для формирования шелковой нити. Этот аппарат начинает активно работать с момента начала завивки кокона, обеспечивая осуществление «технологического процесса» получения шелковой нити. На рис. 15 показана схема шелкоотделительного аппарата гусеницы.

Шелкоотделительный аппарат занимает около 0,4 объема гусеницы и состоит из двух одинаковых желез, каждая из которых, в свою очередь, состоит из трех частей, различающихся формой, размерами и строением.

Первая часть шелкоотделительного аппарата, называемая железистой частью, представляет собой сильно извитую трубку длиной до 300 мм и толщиной до 1 мм. Основное назначение железистой части заключается в получении фиброина, составляющего внутреннюю часть шелковой нити. Фиброин — белковое



Рис. 14. Шелковица:

а — лист дикой шелковицы, *б* — культурной.

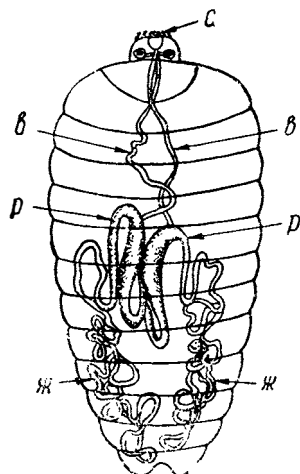


Рис. 15. Шелкоотделительная железа:

ж — железистая часть, *р* — резервуары, *в* — выводные клапаны, *с* — шелкоотделительный сосочек.

тело, не содержащее серы. Элементарная химическая формула фиброина может быть представлена в виде $C_{15}H_{23}N_5O_6$. Фиброин относится к высокомолекулярным соединениям, молекулярный вес фиброина находится в пределах 20000—30000.

Второй частью шелкоотделительного аппарата является так называемый резервуар. Эта часть представляет собою более короткую слабо изогнутую трубку, но большего диаметра. Длина резервуара достигает 100 мм, его максимальный диаметр — 3 мм. В резервуаре вырабатывается белковое вещество серицин. Фиброинная нить, попадающая в резервуар, обволакивается со всех сторон серицином. Элементарная химическая формула серицина — $C_{16}H_{25}N_5O_8$. Наличие серицина на поверхности шелковой нити обеспечивает склеиваемость отдельных нитей при формировании гусеницей кокона.

Третья часть железы представляет собой выводные каналы (протоки) длиной до 30—40 мм. Это наиболее тонкий (до 0,3 мм) и менее извитой отдел шелкоотделительного аппарата. Выводной проток соединяется с протоком другой парной железы в шелкоотделительном сосочке. Здесь происходит слияние двух основных шелковых нитей, окруженных слоем серицина.

Выводной проток состоит из трех частей, из них средняя часть — волоочильня, играет особую роль. В волоочильне отдельные струйки шел-

ковой массы превращаются в две плоские склеенные между собой шелковые нити, которые и составляют коконную нить.

Бабочка, образовавшаяся внутри кокона из куколки перед выходом из кокона, выпускает щелочную жидкость, которая размягчает и частью растворяет стенки кокона, в результате чего происходит разрушение шелковой нити. Для сохранения кокона необходимо уничтожить куколку внутри кокона, чтобы она не успела превратиться в бабочку. Уничтожение куколок называется замариванием и обычно производится на 10—12 день после начала завивки кокона. Для замаривания применяют теплоту солнца, горячий воздух, пар, ядовитые вещества.

После замаривания производится сушка коконов. Замаривание и сушка оказывают влияние на дальнейший процесс — кокономотание. Размотка шелковицы является процессом, обратным завивке, отсюда и технологический процесс размотки, главным образом, зависит от завивки и строения кокона.

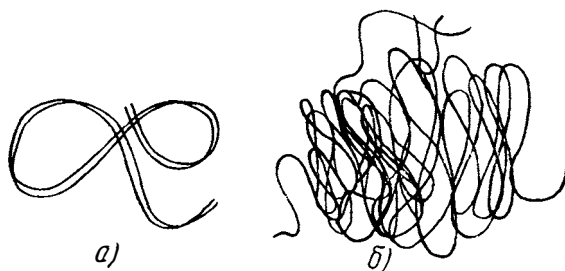


Рис. 16. Шелковица:

а—восьмерка, откладываемая при завивке кокона, б—пакет шелковицы.

Завивку кокона гусеницей обычно разделяют на четыре периода. В первый период гусеница строит связи между ветвями и листьями в том месте, где ею выбрано место для завивки. Шелковые нити, образованные гусеницей за этот период, носят название лесов. Во второй период шелковина гусеницы откладывается более тщательно. Этот второй слой называется сдиром. Ни леса, ни сдир не являются разматываемой частью кокона. В третьей стадии завивки образуется основной слой коконной оболочки, который подлежит размотке. Этот слой составляет до 80% всей шелковой массы. Шелковина, отложенная за этот период, равномерна по тонине и строению, чем и отличается от шелковицы, полученной в предыдущих стадиях. В четвертый период откладывается прослойка, которая является внутренней частью оболочки. Прослойка не разматывается и остается на куколке.

В основной третий период гусеница откладывает шелковину ритмичными движениями головы, причем фигура шелковицы получается в виде неполных восьмерок. Группа до 20 восьмерок называется пакетами (рис. 16).

Построенный гусеницей таким образом кокон состоит из шелковицы, расположенной в 25—30 слоев, и содержит до 60000 пакетов.

Отдельная коконная нить тутового шелкопряда состоит из двух элементарных нитей. При увеличении в 300 раз (рис. 17, а) можно увидеть линию раздела между этими нитями.

В поперечном разрезе коконные нити имеют форму неправильных овалов. Структура коконной нити образована большим числом маленьких волоконцев, соединенных в одну нить (рис. 17, б).

Длина коконной нити, смотанной с одного кокона, достигает 400—600 м. В отдельных случаях длина нити достигает 1500 м.

Разрывная длина коконной нити колеблется от 30000 до 35000 м; предел прочности составляет 45 кг/мм².

Толщина элементарной шелковой нити составляет от 8 до 26 м. Удельный вес шелка равен 1,37. Удлинение нити в момент разрыва достигает 25 %.

Размотка коконов представляет очень тонкий технологический процесс. Перед размоткой коконы запаривают в кипящей воде в течение 30—90 сек. Одновременно с помощью погруженной в воду щетки с ко-

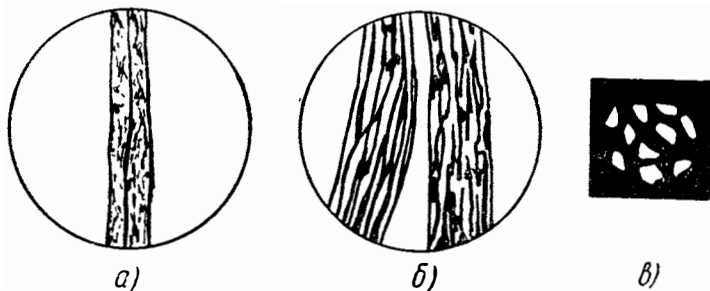


Рис. 17. Волокнистое строение нити.

конов снимается верхняя часть коконной оболочки (сдир) и находятся концы коконных нитей. Не приводя здесь всего сложного процесса размотки коконов, разработанного и усовершенствованного в нашей стране за последние советские пятилетки, необходимо отметить, что в этой области достигнуты значительные успехи, которые с заслуженной гордостью отображены в нашей специальной печати.

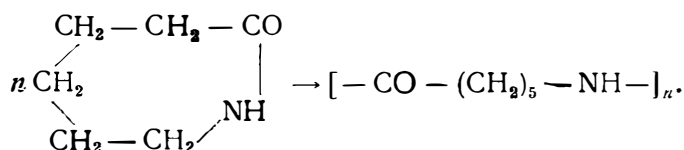
Коконная нить не может быть использована непосредственно в производстве. Эта нить и тонка и слаба. Поэтому для применения шелковой нити в технических изделиях необходимо соединить несколько коконных нитей в одну. В результате соединения коконных нитей в одну получаются шелковые нити, мотки которых носят название шелка-сырца или грежи. Шелк-сырец является плохим проводником тепла, его коэффициент теплопроводности равен 0,0486 к кал/м час°С. Повышение температуры до 120°С шелк выдерживает без признаков разложения, при 160°С шелк быстро разрушается. Шелк является хорошим диэлектриком, но электропроводность шелка сильно возрастает при увлажнении. Увлажнение шелка понижает его прочность на 7—10 %. Разрывная длина шелка-сырца колеблется в пределах от 26000 до 35000 м.

Дальнейшими операциями обработки шелковых нитей являются трощение и кручение. Трощение является технологическим процессом, который подготавливает шелковую нить к кручению. Задача процесса трощения заключается в соединении нескольких нитей в одну с одновременной перемоткой нитей с нескольких катушек на одну катушку. Задача кручения шелковой нити преследует цели:

- 1) придать нити лучший внешний вид;
- 2) уплотнить нить и сделать ее более компактной;
- 3) сделать нить более равномерной по тонине и
- 4) увеличить прочность нити.

6. Капроновое волокно

Капроновое волокно представляет собой синтетическое полиамидное волокно, получившее за последние годы большое распространение. Исходным сырьем для получения капронового волокна является лактам ϵ — аминкапроновой кислоты или капролактама. При высокой температуре и при взаимодействии с водяным паром семичленное кольцо капролактама разрывается, причем образуется ϵ — аминкапроновая кислота, которая конденсируется с выделением воды в полиамид.



Продукт поликонденсации капролактама используется для изготовления высококачественного волокна или пленки.

Технология получения капронового волокна или пленки несложна. Капролактама расплавляется при температуре около 70°C и перекачивается в конденсационную колонку. Температура в колонке поддерживается в пределах 260—280°C. Реакция конденсации капролактама протекает в атмосфере азота в присутствии химических веществ, которые при нагревании выделяют необходимую для реакции конденсации капролактама воду. Продукт конденсации капролактама — полиамид в расплавленном состоянии — вытекает из нижней части колонки, фильтруется и перекачивается в обогреваемую фильеру. Сама фильера может быть любой формы. От формы фильеры зависит возможность получения изделия в виде нити, пленки или жилки.

Таблица 1

Наименование	Предел прочности в кг/мм ²	Толщина в микронах	Удельный вес в г/см ³
Хлопок	25—56	20—25	1,47—1,50
Лен	60—100	12—25	1,45
Пенька	45—90	14—20	1,48
Рами	105—108	10—45	1,52
Кендырь	110	28—40	1,50
Натуральный шелк	45—50	12—15	1,37
Капрон	40—60	—	1,14
Вискозный шелк	25—85	25—40	1,50
Стекланная нить	250—700	3—10	2,6—2,7
Чугун	20	—	7,58
Пружинная сталь	170	—	7,80
Медная проволока	40	—	8,00
Алюминий	10	—	2,75
Свинец	3	—	11,3
Дерево в направлении волокон . .	8—15	—	0,3—1,1
Каучук	2—10	—	0,92
Аэростатная проволока	230—350	—	7,80

Удельный вес капрона составляет $1,14 \text{ г/см}^3$, модуль упругости — около 1000 кг/мм^2 . Капрон стоек к многократным нагрузкам и к изгибам. Капроновая нить выдерживает до 500000 изгибов. Разрывная длина капронового волокна составляет 40—50 км, а упрочненного волокна — 54—67 км, удлинение в среднем 20—25%. Капрон обладает высокой водостойкостью, при набухании в воде вес его увеличивается всего лишь на 8%. Удельное электрическое сопротивление составляет 10^{13} — 10^{14} ом см , благодаря чему в сухом состоянии капроновое волокно легко электризуется. Капрон не набухает и не растворяется в бензине, бензоле, авиационных маслах, а также устойчив к разбавленным щелочам, спиртам, сложным и простым эфирам. Кислоты, в особенности концентрированные, гидролизуют капрон с образованием капролактама и его производных.

Все перечисленные элементарные волокнистые вещества обладают высокими механическими свойствами. В чистом виде элементарные волокна в практике не применяются. В таблице 1 приведены физико-механические свойства элементарных волокон. Для сравнения приведены также показатели и некоторых других материалов.

Глава II

КРАТКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЭРОСТАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

7. Изготовление хлопчатобумажных тканей

Волокнистые материалы, применяемые для изготовления тканей, состоят из волокон, характеризующихся либо сравнительно небольшой длиной (элементарные волокна хлопка, льна, пеньки и др.), либо весьма большой протяженностью (элементарные нити шелка, капрона и др.). Технология получения технической нити из длинных элементарных нитей сводится в основном к процессу скручивания нескольких тонких длинных волокон в одну нить, пригодную для ткачества тканей. Получение нитей, пригодных для ткачества, из сравнительно коротких волокон требует проведения ряда предварительных операций, которые в целом носят название **пряжения**. Нить, полученная после прядения, состоит из коротких волокон, связанных друг с другом силами трения.

Процесс прядения состоит из нижеследующих основных операций:

а) разрыхление волокнистого материала (кипы) с целью дальнейшего перемещения волокон, ориентированных в желательном направлении;

б) очистка волокнистой массы от посторонних включений, среди которых могут быть песок, пыль, остатки листьев, коробочек и семян, а также короткие и мертвые волокна;

в) расположение массы волокон в виде ленты (жгута), которая является исходным материалом для будущей нити;

г) обработка ленты с целью расположения в ней волокон по длине параллельно друг другу и утонение ленты с сохранением ее равномерности по сечению;

д) получение ровницы путем вытягивания с одновременным закручиванием ленты.

Хлопок поступает на фабрики в спрессованном виде в кипах, поэтому первой операцией является разрыхление хлопка. Разрыхление хлопка производится с помощью кипоразбивателей, которые удаляют и грубые примеси.

На рис. 18 приведена общая схема процесса разрыхления хлопка и очистки его от грубых примесей. Небольшие порции хлопка из кипы *а* забрасываются на подвижную решетку кипоразбивателя *б*, подающую хлопок к быстро вращающемуся барабану, где хлопок под действием металлических зубьев барабана разрыхляется и частично очищается от

грубых загрязнений. Далее хлопок поступает в лабазы *в*, где, если в этом имеется необходимость, смешиваются различные партии хлопка. Из лабазов хлопок поступает на автоматический питатель *г*, откуда по трубам — в опенер *д*, где подвергается ударам ножей, после чего хлопок поступает в установку *е*, производящую дальнейшее разрыхление хлопка

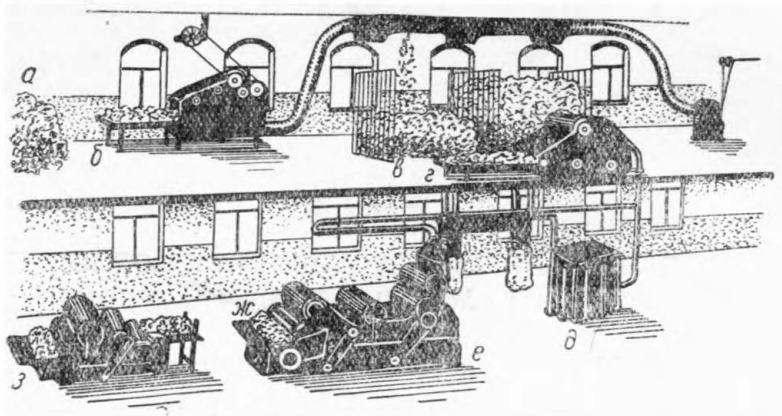


Рис. 18. Разрыхление хлопка.

и его очистку, откуда хлопок выходит в виде холстов *ж*. Волокнистую массу холста необходимо уравнять по толщине, что и производится на трепальной машине *з*. Для дальнейшей обработки холсты хлопка поступают на чесальные машины (рис. 19).

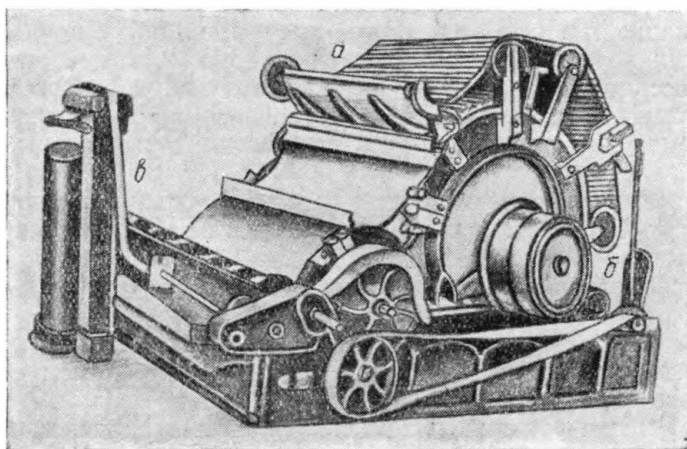


Рис. 19. Чесальная машина.

На кардочесальной машине, показанной на рис. 19, хлопок прочесывается при помощи полотен с металлическими иглами *а*, называемых кардами. Назначение этих машин заключается в разделении оставшихся в холсте *б* мелких комков волокон на отдельные волокна (расчесывании), выделении остатков сора и коротких волокон, укладке волокон параллельно друг другу и, наконец, в изготовлении из холста ленты *в*. При

изготовлении пряжи высоких номеров, необходимой для выработки тканей технического назначения, хлопок подвергается дополнительному прочесыванию. Для этой цели ленту вновь превращают в холсты на лентосоединительных машинах, холсты выравнивают на холстовытяжных машинах, после чего производят прочесывание холстов на гребнечесальных машинах (рис. 20).

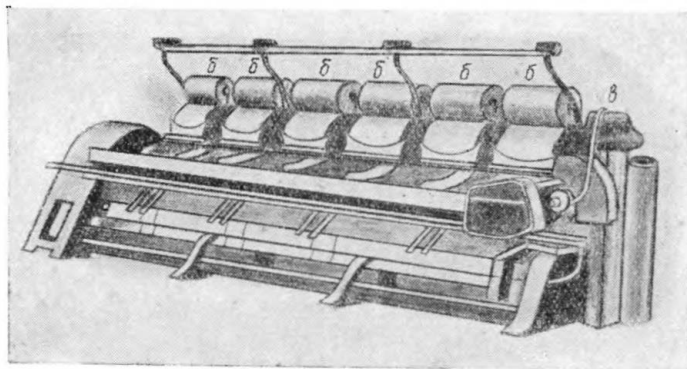


Рис. 20. Гребнечесальная машина.

На гребнечесальной машине холсты *б*, проходя через гребни, прочесываются, и прочесанный хлопок выходит из машины в виде ленты *в*. Лента поступает далее на ленточную машину (рис. 21).

Ленточная машина позволяет выровнять ленту по толщине и распрямить волокна хлопка. Выравнивание достигается тем, что в ленточную машину поступает сразу 6—8 лент и после прохода вытяжного аппарата машины ленты складываются и вытягиваются примерно в столько же раз, сколько было сложено лент.

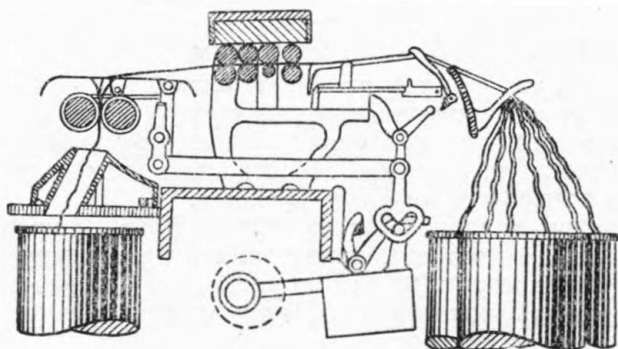


Рис. 21. Схема ленточной машины.

Подготовка хлопка к прядению заканчивается после его обработки на ленточной машине, и дальнейший технологический процесс сводится к постепенному утонению ленты с одновременным уравниванием ее по толщине и небольшим скручиванием. Эта операция производится на ряде специальных машин, в результате чего получается продукт, называемый ровницей.

Тонкая ровница, намотанная на катушки, поступает в прядильный отдел, где при помощи кольцепрядильной машины (рис. 22) превращается в тонкую крепкую нить — пряжу, наматываемую на шпули б.

Пряжа разделяется на два вида: основа и уток. Основная пряжа (основа) в готовой ткани располагается вдоль длины куска, а уточная — поперек куска. Основа отличается большей крепостью и гладкостью, уточная пряжа бывает более мягкой и гибкой.

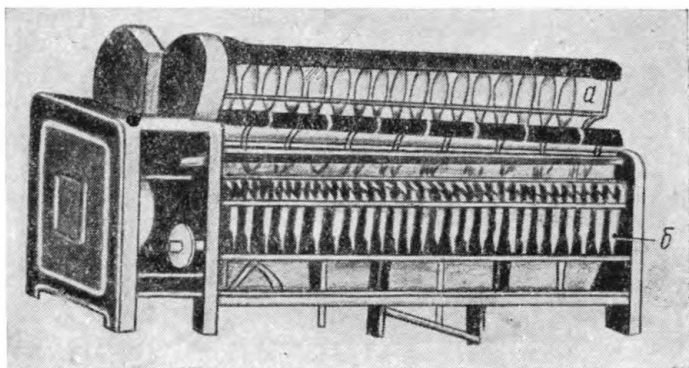


Рис. 22. Кольцепрядильная машина.

К основным свойствам пряжи относятся: тонина, крепость, крутка, равномерность, растяжимость, гибкость, гладкость и гигроскопичность.

Тонина пряжи характеризуется номером. Метрический номер N_m пряжи определяется соотношением:

$$N_m = \frac{L}{G},$$

где L — длина пряжи в километрах;

G — вес пряжи длиной L в килограммах.

Естественно, что чем тоньше будет пряжа, тем выше ее номер.

Крепость пряжи определяется величиной сопротивления разрыву.

В текстильном производстве принято качество пряжи определять степенью ее добротности. Значение добротности пряжи представляет собой произведение номера пряжи на ее крепость.

Крепость пряжи зависит от ее крутки. Круткой пряжи называется число закручиваний (витков), приходящееся на единицу длины. С увеличением крутки крепость пряжи возрастает, но до известного предела, после чего крепость уменьшается. Между степенью кручения и номером пряжи существует зависимость

$$K = \alpha \sqrt{N},$$

где K — степень кручения;

α — коэффициент крутки;

N — номер пряжи.

Для определения крутки пользуются приборами-круткомерами.

Равномерность пряжи является очень ценным ее свойством. Под равномерностью пряжи понимают постоянство качества пряжи по всей

длине нити, т. е. отсутствие утолщений и утонений, сорности и т. п. Равномерность пряжи может быть определена по внешнему виду при просмотре на приборе, основной частью которого является черная доска, на которую сматывают исследуемую пряжу ровными рядами.

Растяжимость пряжи определяется обычным методом, принятым в сопротивлении материалов, т. е. определением относительного удлинения при разрыве. Естественно, что при этом испытании может быть получена и диаграмма растяжения пряжи. Гибкость пряжи является необходимым ее свойством, так как в ткачестве пряжа подвергается неоднократным изгибам. Гибкость пряжи зависит от качества волокна, номера пряжи и крутки. Более тонкая пряжа обладает и лучшей гибкостью, крутая пряжа менее гибка. Пряжа, изготовленная из длиноволокнистого хлопка с применением гребнечесания, является и наиболее гибкой, так как волокна хлопка в этом случае хорошо распрямлены и наиболее параллельны.

Все рассмотренные выше физико-механические свойства пряжи определяются с целью оценки ее качества. Качество пряжи регламентируется общесоюзным стандартом. После проверки соответствия пряжи этому стандарту пряжа поступает на ткацкую фабрику.

На ткацкой фабрике производится изготовление ткани из отдельных нитей пряжи. Изготовление тканей представляет собой процесс взаимного переплетения нитей.

Ткацкая фабрика имеет два основных отдела: подготовительный и ткацкий. Назначение подготовительного отдела — подготовить пряжу к дальнейшей обработке — ткачеству. В ткацком отделе производится непосредственно изготовление ткани на ткацких станках. Подготовки к ткачеству основной и уточной пряжи отличаются друг от друга. Уточная пряжа поступает в ткачество непосредственно с прядильных фабрик или же иногда перематывается с прядильных початков на ткацкие шпули. Этим и ограничивается подготовка утка к ткачеству. Совсем иначе подготавливается к ткачеству основная пряжа. Подготовительный отдел ткацкой фабрики состоит из четырех отделений: мотального, сновального, шлихтовального и проборного. Назначение мотального отделения — удалить из пряжи бракованные места (отдельные слабые участки, шишки, сор) и увеличить длину нити на катушке. Задача сновального отделения — соединить отдельные нити основы по ширине в группы по 400—600 нитей и намотать их в определенном порядке на сновальный валик. На рис. 23 показана схема сновальной машины. Основная пряжа, перемотанная на сновальные катушки n , устанавливается на сновальную раму R и заправляется в сновальную машину S , где нити приводятся в горизонтальное положение на равном расстоянии друг от друга и наматываются на большую катушку a , которая является сновальным валиком.

Основная пряжа, намотанная на сновальные валики, поступает в шлихтовальное отделение. Назначение шлихтовального отделения — пропитать нити основы специальным раствором — шлихтой, с целью усилить их сопротивление разрыву и сделать их более гладкими и устойчивыми против трения во время переплетения с утком при работе на ткацком станке. Пропитка шлихтой производится на шлихтовальных машинах. Состав шлихты довольно разнообразен, но в основном в него входят следующие вещества: картофельная мука, вода, жировые вещества; антисептические вещества — купорос, квасцы; гигроскопические вещества — глицерин и др. Обычно шлихта варится при температуре 80°C с целью получения из муки жидкого клейстера.

Отшлифованная основа поступает в проборное отделение. Задача этого отделения состоит в проборке нитей основы в ремизках и берде и присучке концов новой основы к уже пробранным в ремиз и бердо концам прежней основы.

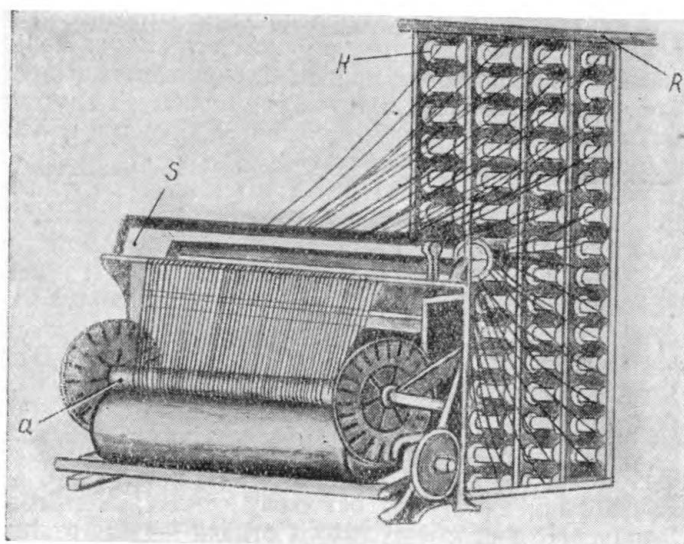


Рис. 23. Схема сновальной машины.

Ремизка представляет собою прибор (рис. 24), состоящий из двух планок, соединенных между собой рядом нитей. Эти нити имеют в середине петельки или глазки. Проборка нитей основы в ремизке производится в соответствии с переплетением, выбранным для данной ткани. Для технических тканей применяется обычно простое переплетение, в

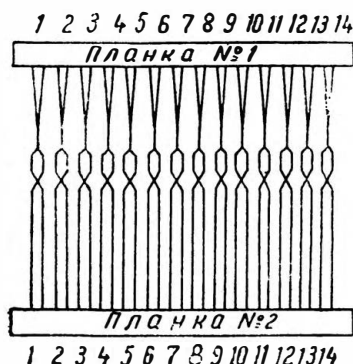


Рис. 24. Ремизка.

этом случае основа пробирается в две ремизки, причем четные нити пробираются в глазки первой ремизки и проходят между нитями второй ремизки, а нечетные — в глазки второй ремизки, проходя между нитями первой ремизки. Когда первая ремизка поднимается вверх, все четные нити основы также поднимутся и образуют *зев*, в который при ткачестве проходит челнок с поперечной нитью. При поднятии второй ремизки будут подняты все нечетные нити и в образовавшийся *зев* снова может быть пропущен челнок с уточной нитью.

Бердо (рис. 25) представляет собой гребень, состоящий из тонких и узких стальных пластинок.

Основа пробирается в промежутки между этими пластинками. Назначение берда — задвинуть нити утка в *зев*, образуемый нитями основы в процессе ткачества. Нити основы, пробранные в ремизки и бердо, устанавливаются на ткацком станке, после чего приступают к самому процессу изготовления ткани.

Изготовление ткани, производимое на ткацком станке, представляет процесс переплетения основных и уточных нитей. Существует много различных систем переплетения нитей, но при изготовлении технических тканей обычно используется простое или полотняное переплетение, при

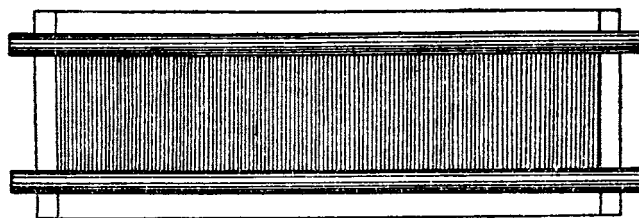


Рис. 25. Бердо.

котором нити утка проходят попеременно или над нитями основы или под ними. Схема полотняного переплетения приведена на рис. 26.

Процесс изготовления ткани состоит из следующих операций:

1) нити основы поднимаются при помощи ремизоподъемного прибора, приводящего в движение ремизки;

2) нить утка, при помощи челнока с уточной нитью (рис. 27), прокидывается в *зев*, т. е. в промежуток между поднятыми и неподнятыми нитями основы;

3) проложенная нить утка прижимается бердом к ранее прокинутой уточной нити. Одновременно поднятые нити основы возвращаются в прежнее положение и процесс повторяется снова. Общая схема ткацкого станка приведена на рис. 28.

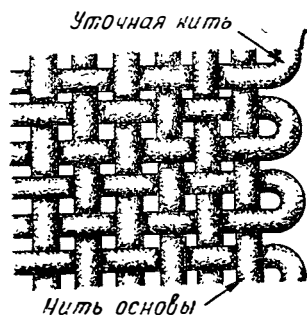


Рис. 26. Простое переплетение нитей.

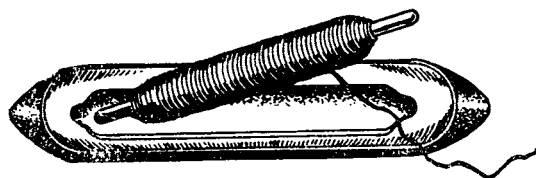


Рис. 27. Челнок.

Изготовленная на ткацком станке ткань называется *суровой*. Эта ткань жестка на ощупь, плохо смачивается и имеет некрасивый желтоватый цвет. В зависимости от назначения, суровая ткань подвергается следующим видам обработки: отбелке, крашению, отделке. Технические ткани подвергаются в большинстве случаев только одной отделке на специальных отделочных фабриках.

Суровая ткань, поступившая с ткацкой фабрики на отделочную фабрику, в первую очередь разбраковывается по ткацким порокам. Далее производится расшлихтовка ткани, т. е. снятие шлихты, нанесенной на основу перед процессом ткачества.

Расшлихтовка ткани заключается в вымачивании ткани в воде для перевода крахмала шлихты в растворенное состояние. После вымачивания ткань промывается водой и отжимается для удаления воды на цен-

трифугах или каландрах. В процессе обработки ткань сильно вытягивается в длину и усаживается по ширине. Перед высушиванием ткань подвергается *ширению* на рамах с целью растяжения ткани до первоначальной ширины и только после ширения производится окончательное высушивание ткани на барабанах, обогреваемых паром.

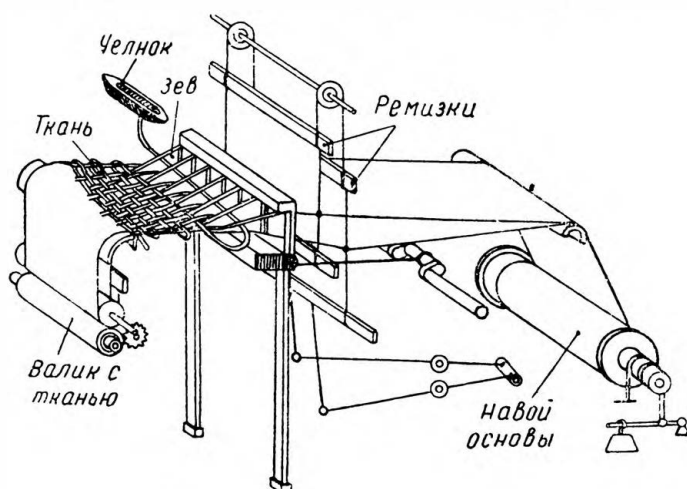


Рис. 28. Схема ткацкого станка.

Готовая ткань подвергается осмотру с целью разбраковки по ткацким порокам. К основным ткацким порокам, влияющим на качество ткани, относятся:

- 1) близна — отсутствие в ткани одной или несколько нитей основы;
- 2) подплетина — обрыв нескольких нитей основы или утка с нарушением порядка переплетения соседних нитей;

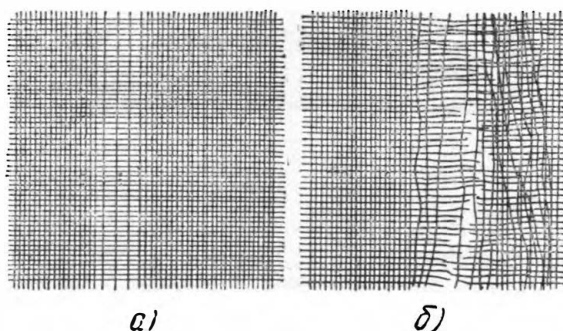


Рис. 29. Недосека и забоина, подплетина.

- 3) поднырки — основные нити не переплетаются с уточными;

- 4) недосека — уточные нити расположены реже, чем требуется по заправке;

- 5) забоина — плотная набивка нитей утка по всей ширине ткани;

- 6) шпаруточные проколы — по ткани в направлении основы на расстоянии 3—5 см от кромок наблюдаются про-

колы от шпаруток (иголок) вследствие их неправильной установки;

- 7) грязные нити — нити, окрашенные маслом в черный или коричневый цвет;

- 8) парочки — появление вдоль куска ткани белой полосы в виде забоины.

На рис. 29 и 30 приведены некоторые виды брака тканей.

Готовые технические ткани должны удовлетворять определенным требованиям.

Ткань, предназначенная для технических целей, подвергается испытаниям, в результате которых должна быть получена характеристика ткани по прочности, относительному удлинению, весу, воздухопроницаемости и другим показателям, обусловленным техническими условиями.

Хлопчатобумажные ткани, применяемые для изготовления баллонных материй и парашютов, могут быть изготовлены из длинноволокнистых хлопков и из хлопков с средней длиной волокна. Применение того

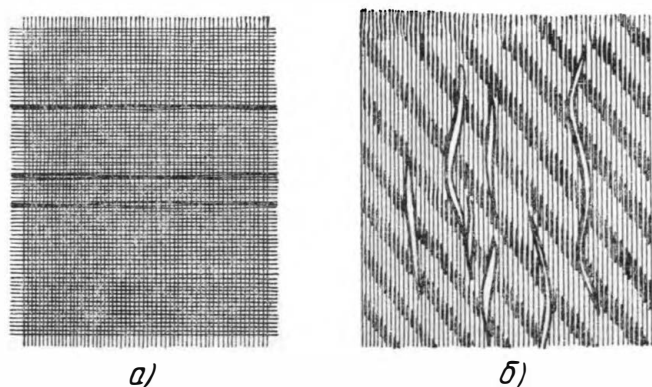


Рис. 30. Парочки, поднырки.

или иного хлопкового волокна отражается на физико-механических показателях ткани. Выбор ткани по ее физико-механическим показателям производится конструктором, для чего в его распоряжении должны быть соответствующие ГОСТы с характеристиками ткани (приложение 1).

В таблице 2 приводятся некоторые физико-механические показатели хлопчатобумажных тканей, изготовленных из средних и длинноволокнистых сортов хлопка.

Таблица 2

Наименование	Предел прочности в кг/м		Относительное удлинение в %		Вес м ² в г
	основа	утск	основа	уток	
Легкая ткань	не менее		в пределах		не более
из средневолокнистого хлопка:					
I тип	340	320	5—8	8—12	46
II тип	480	460	5—9	7—13	56
III тип	540	520	6—10	7—14	63
из длинноволокнистого хлопка:					
IV тип	550	550	6—10	7—13	60
V тип	420	400	5—9	6—12	50
Средняя ткань					
из средневолокнистого хлопка:					
I тип	720	700	7—12	8—15	83
II тип	850	800	7—13	8—16	100
из длинноволокнистого хлопка:					
III тип	860	840	8—12	10—16	92
Тяжелая ткань					
I тип	1250	1200	10—15	10—15	132

8. Изготовление шелковых тканей

Для получения прочных нераспадающихся шелковых нитей, необходимых для изготовления шелковых тканей, исходная грежевая шелковая нить должна быть подвергнута крутке. Кручение шелковых нитей производится на крутильной машине, внешний вид которой приведен на рис. 31.

Изготовление баллонных и парашютных тканей из натурального шелка производится в ткацком отделе фабрики. Основа шелковой ткани вырабатывается из шелка-сырца (грежа), а уток — из крученого шелка.

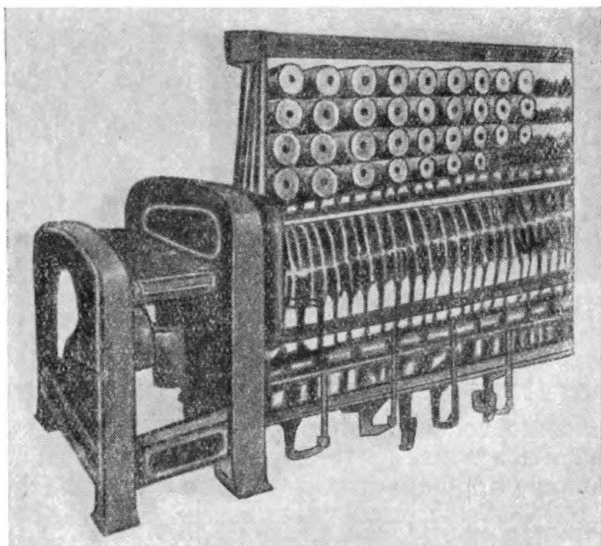


Рис. 31. Крутильная машина.

Подготовительные операции шелкоткацкого производства заключаются в подготовке сырья для придания ему формы, удобной для переработки на ткацком станке.

Операции подготовки шелкового сырья к ткачеству заключаются в следующем:

Для основы: 1) размотка сырья с мотков на катушки, 2) снование основы, 3) проборка основы в ремиз и бердо.

Для утка: 1) размотка сырья с мотков на катушки, 2) перемотка сырья с катушек на шпули.

Для размягчения серицина с целью придания нитям грежи мягкости и эластичности грежа подвергается перед размоткой замочке. Замочка производится в водном растворе мыла. После замочки грежа отжимается, вручную разделяется на нити и просушивается. При размотке шелк перематывается с мотков на катушки; при этой операции проверяется непрерывность нити, последняя очищается от шишек и узлов, удаляются спутанные места. Размотка, производимая на мотальных машинах, позволяет придать сырью компактную форму, удобную для следующей операции — сновки или перемотки на шпули. Цель снования заключается в группировке ряда нитей определенной длины и намотке их параллельно одна другой на ткацкий навой. Дальнейшие операции — проборка и присучка — производятся так же, как и в хлопчаткачестве.

Процесс ткачества шелковых тканей состоит из тех же операций, что и ткачество хлопчатобумажных тканей.

Свойства шелковых тканей приведены в стандартах, которыми должен руководствоваться конструктор при проектировании. В таблице 3 приведены примерные физико-механические свойства шелковых тканей.

Т а б л и ц а 3

Наименование	Предел прочности в кг/м		Относительное удлинение в %		Вес в г/м ²
	основа	уток	основа	уток	
Натуральный шелк:	не менее		в пределах		не более
I тип	550	500	12—18	10—16	33
II тип	700	800	12—18	10—16	52
III тип	1000	1000	12—20	10—18	60
Капрон	900	800	25—30	25—30	42

Ширина технических шелковых и капроновых тканей обычно составляет около одного метра (90—94 см).

9. Изготовление баллонных материй

а) Конструкция материй

Баллонные материи, применяемые для изготовления оболочек аэростатов, состоят из тканей, несущих силовую нагрузку, и из газодержащих слоев, сообщающих баллонным материям газонепроницаемые свойства. По своим конструкциям баллонные материи разделяются на однослойные, двухслойные и трехслойные в зависимости от числа слоев ткани в материи. Схемы конструкций различных баллонных материй приведены на рис. 32.

Для изготовления баллонных материй используются хлопчатобумажные, шелковые и капроновые ткани. Газодержащий слой представляет собой обычно резиновую пленку. Ранее в качестве газодержащих слоев в баллонных материях использовались также бодрюш и лаковые покрытия.

Бодрюш — пленка от толстой кишки крупного рогатого скота — имел большое распространение при изготовлении баллонов дирижаблей жесткой системы.

В однослойных материях газодержащий слой может быть нанесен на одну сторону ткани, иногда на газодержащий слой накладывается также и защитный слой, окрашенный алюминиевым порошком или минеральными пигментами. Большей частью в однослойных материях ткань располагается между защитным и газодержащим слоями.

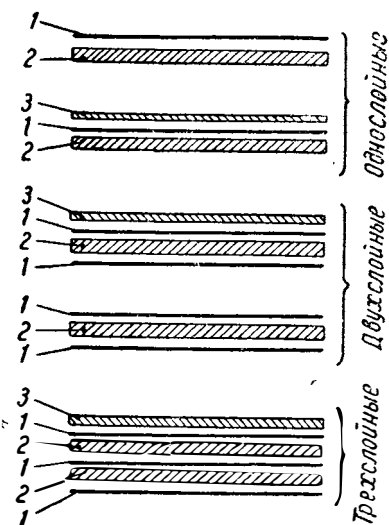


Рис. 32. Схемы конструкций баллонных материй.

Двухслойные баллонные материи разделяются на параллельно-дублированные и диагонально-дублированные. В материях первого типа основа одного из слоев ткани параллельна основе другого слоя тканей. Такие баллонные материи проще в производстве, имеют двойную прочность по отношению к однослойной материи, но обладают слабым сопротивлением раздиранию, что и ограничивает их применение. В диагонально-дублированной баллонной материи основа и уток первого слоя ткани расположены под углом в 45° по отношению к основе и утку второго слоя ткани. Диагонально-дублированные материи имеют прочность лишь на 8—10% выше прочности однослойной материи из такой же ткани, но обладают хорошим сопротивлением раздиранию и, кроме того, способны принимать касательные напряжения, возникающие в оболочках аэростатов при эксплуатации. В двухслойных материях газодержащий слой расположен между двумя слоями ткани. На наружный слой ткани обычно наносят защитный слой с минеральным пигментом или алюминиевым порошком. В случае применения двухслойной материи внутри оболочки аэростата, например для изготовления диафрагмы баллона, защитный слой на материи не наносится.

Трехслойные баллонные материи имеют три слоя ткани и между ними — два отдельных газодержащих слоя. В трехслойных материях большей частью два слоя ткани параллельны друг другу, третий слой ткани располагается под углом 45° к двум параллельно-дублированным слоям ткани. Этот третий слой ткани, несколько увеличивая прочность баллонной материи, в основном способствует увеличению сопротивления раздиранию и воспринимает касательные напряжения, возникающие в оболочке. Диагональный слой ткани располагают или между двумя параллельными слоями, т. е. внутри баллонной материи, или с наружной стороны материи. На наружную сторону трехслойной материи наносят защитный слой с минеральным пигментом или алюминиевым порошком.

В процессе проектирования аэростатных оболочек определяются расчетным путем напряжения, возникающие в баллонной материи оболочки. Если выбран коэффициент безопасности, то предел прочности необходимой баллонной материи получается простым перемножением определенной величины напряжения на коэффициент безопасности. При проектировании металлических или деревянных конструкций инженер обеспечен данными сортамента этих изделий, где приводятся допускаемые напряжения, вес, моменты инерции, моменты сопротивления, модули упругости и другие необходимые для расчетов величины. Для баллонных материй этого сортамента не существует, а имеются лишь технические условия, которые иногда совершенно неверно приравнивают к сортаменту.

В связи с тем, что технические условия предусматривают изготовление сравнительно ограниченного числа типовых схем баллонных материй (приложение 2), часто при проектировании аэростатов не удается подобрать готовой, имеющейся в производстве баллонной материи. В этом случае конструктору следует рекомендовать самому создавать технические требования на производство новых баллонных материй, основанных на физико-механических показателях новых материалов.

Рассмотрим в качестве примера выбор баллонной материи для оболочки аэростата.

В процессе проектирования допустим, что действующее максимальное напряжение в оболочке определено в 180 кг/м . Коэффициент безопасности по условиям эксплуатации выбран 2,5. Следовательно, предел прочности необходимой баллонной материи должен быть:

$180 \text{ кг/м} \times 2,5 = 450 \text{ кг/м}$. Далее, должна быть выбрана конструкция материи. Пусть по условиям расчета и эксплуатации оболочки выбрана диагонально-дублированная баллонная материя. Известно, что диагональный слой ткани может дать увеличение прочности на 8—10%, поэтому диагональный слой выбирается во вторую очередь, а в первую очередь должна быть выбрана ткань, предел прочности которой составляет не менее 450 кг/м. Если проект предусматривает массовый выпуск оболочек, то рекомендуется ткань, которая должна быть хлопчатобумажной. В таблице 2 такой ткани соответствует II тип легкой ткани с пределом прочности по основе 480 кг/м, удлинением — в пределах 5—9% и весом 56 г/м².

Диагональный слой, как указывалось выше, дает небольшой прирост прочности, поэтому его можно выбрать менее прочным, но более легким. По той же таблице наиболее подходящей тканью для диагонального слоя будет ткань первого типа с пределом прочности 340 кг/м, относительным удлинением основы в пределах от 5 до 8% и весом 46 г/м². Общий предел прочности такой диагонально-дублированной материи будет:

$$480 + 340 \times 0,1 = 514 \text{ кг/м}.$$

Этот предел прочности несколько выше запроектированного (450 кг/м), но в данном случае и коэффициент безопасности будет несколько выше выбранного, т. е. вместо 2,5 — коэффициент безопасности получается 2,7. После того, как конструктор остановился на выборе силовой схемы баллонной материи, следует приступить к выбору резиновых газодержащих слоев. Газодержащий слой, расположенный между двумя слоями ткани, обычно имеет вес около 100 г/м², кроме того, на наружный слой ткани накладывается защитный резиновый слой с алюминиевым порошком. Вес защитного слоя обычно составляет 40 г/м².

Таким образом, вес квадратного метра проектируемой баллонной материи составит:

56	+	100	+	46	+	40	= 242 г/м ² .
вес параллельного слоя ткани		вес газодержащего резинового слоя		вес диагонального слоя ткани		вес защитного слоя	

При газодержащем резиновом слое весом в 100 г/м² водородопроницаемость баллонной материи не превышает 8 л/м² за 24 часа при 15°C.

Таким образом, конструктор вправе предъявить промышленности технические требования на баллонную материю для проектируемого объекта со следующими показателями:

- 1) конструкция материи — диагонально-дублированная;
- 2) предел прочности — не менее 500 кг/м;
- 3) относительное удлинение при разрыве: по основе — 5—9%; по утку — 7—13% (на основании табл. 2);
- 4) вес баллонной материи не более 245 г/м²;
- 5) водородопроницаемость не более 8 л/м² в сутки при 15°C.

Кроме хлопчатобумажной ткани, для изготовления баллонных материй могут применяться шелковые или капроновые ткани, а также может быть применен газодержащий слой не из резиновой пленки. Подобные баллонные материи требуют отдельного проектирования.

б) Каучук

Натуральный каучук. Натуральный каучук применяется в настоящее время для изготовления ограниченного числа изделий воздухоплавательной техники, как то: амортизационных шнуров, мембран клапанов, клеев для конфекции оболочек и лент для заклейки швов.

Резиновые изделия, изготовленные на основе натурального каучука, характеризуются высокой упругостью и способностью сохранять эту упругость при относительно низких температурах. Растворы натурального каучука или его смесей с ингредиентами в бензине, применяемые в качестве резиновых клеев для склейки изделий из баллонных материй, обеспечивают требуемую липкость покрытий и высокую прочность швов.

Натуральный каучук получается из млечного сока некоторых деревьев, произрастающих в тропических странах. Млечный сок, выделяющийся при надрезе коры дерева, называется латексом.

По внешнему виду латекс похож на густое молоко, белого или желтого цвета.

Наиболее распространенным каучуконосным деревом является бразильская гевея из семейства молочайных. Плантации бразильской гевеи расположены, главным образом, в Малайе, Индонезии, Бирме, Вьетнаме и на острове Цейлон.

Для получения латекса на стволе гевеи делается несколько глубоких косых надрезов (рис. 33), к нижней части которых прикрепляется алюминиевый желоб, по которому латекс стекает в алюминиевую кружку. Собранный латекс сливается в общий сборник, фильтруется и, с целью выделения из него каучука,

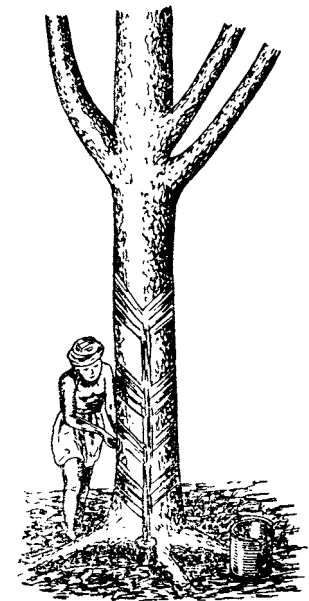


Рис. 33. Подсечка гевеи.

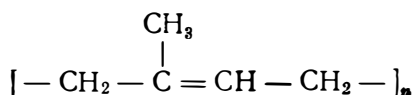
подвергается коагуляции (свертыванию) органической кислотой.

В зависимости от условий коагуляции и последующей обработки каучук получается или в виде тонких пористых белых листов (светлый креп) или в виде плотных рифленых листов желто-коричневого цвета (смокед-шитс).

Латекс представляет собой полидисперсную и многокомпонентную систему. Каучук находится в латексе в виде мельчайших частиц, называемых глобулами. Кроме каучука, в состав латекса входят белковые вещества, смолы, жирные кислоты, сахаристые вещества и неорганические соли. Большинство глобул имеет грушевидную форму. Размеры глобул находятся в пределах 1,0—5,0 μ . По своему химическому составу чистый натуральный каучук является непредельным углеводородом, имеющим формулу $(C_5H_8)_n$.

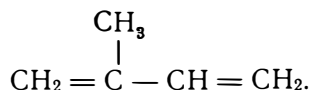
Натуральный каучук относится к типичным высокомолекулярным соединениям, молекулярный вес его достигает 300 000—400 000.

Основной структурной единицей молекулы натурального каучука является изопентановая группа, состава:



Многoкратнo пoвтoряющaяся пo длинe линeйнo пoстрoеннoй мoлeкулы.

Каучук такого состава может быть получен полимеризацией углеводорода изопрена, имеющего структурную формулу:



Натуральный каучук легко окисляется кислородом воздуха, образуя смолообразные продукты. Окисление каучука ускоряется при действии света и нагревании.

При нагревании натурального каучука с серной кислотой и сульфокислотами получается жесткий термопластичный продукт — термopен, применяемый для склеивания резины с металлами.

Наиболее ценным химическим свойством каучука является его способность при нагревании соединяться с серой.

Процесс соединения каучука с серой носит название вулканизации, а получаемый в результате вулканизации продукт называется резиной.

Механические свойства каучука после вулканизации значительно улучшаются: возрастает сопротивление разрыву и раздиранию, снижается величина остаточной деформации, увеличивается упругость каучука.

В отличие от каучука резина не размягчается при нагревании и не твердеет при охлаждении ниже 0°. Кроме того, после вулканизации каучук перестает растворяться в органических растворителях.

Широкое использование каучука в технике стало возможным лишь после открытия в 1839 году реакции превращения каучука в резину.

Основные технические свойства ненаполненных вулканизатов натурального каучука приведены в таблице 4.

Т а б л и ц а 4

Показатели	Значение показателя	Показатели	Значение показателя
Предел прочности	230—300 кг/см ²	Сопротивление раздиру Коэффициент морозостойкости (100% растяжения) при 45°C	100—130 кг/см
Относительное удлинение	800—950 %		0,85
Остаточное удлинение	15—20 %	Объемное удельное электросопротивление	10—10 ом/см
Температура хрупкости	—62—65°C		

Следует отметить, что в Советском Союзе культивируется ряд каучконосных растений, к которым относятся: кок-сагыз, тау-сагыз, гваяла, хондрилла и ваточник.

В большинстве этих растений каучук содержится либо в млечном соке корней и листьев, либо в основных клетках растения (гваяла).

Наибольшим распространением пользуется культура кок-сагыза (рис. 34), принадлежащего к семейству сложноцветных. В сухих корнях однолетнего кок-сагыза содержится 8—12% каучука. Выделение каучука из корней производится путем предварительного разрушения клетчатки или непосредственным экстрагированием корней растворителями.

Сырой каучук содержит большое количество трудно отделяемых от него смол.

По физико-механическим показателям натуральные каучуки из советских каучуконосных растений близки к импортным сортам натурального каучука.

Синтетический каучук. Уже в первые годы Советской власти в связи с необходимостью обеспечения резиновой промышленности каучуком был поставлен вопрос об изыскании новых источников каучука, независимо от его импорта из зарубежных стран.

Учитывая неблагоприятные климатические условия Советского Союза в отношении возможности культивирования тропических каучуконосов, особое внимание было обращено на промышленную реализацию путей синтеза каучукоподобных соединений.

В 1926 году Советским правительством был объявлен международный конкурс на лучший способ получения синтетического каучука, первая премия на котором была присуждена советскому ученому С. В. Лебедеву, представившему образец синтетического каучука полимера дивинила и технологию его получения.

Работы С. В. Лебедева явились завершением ряда исследований русских и, в особенности, советских химиков, к числу которых должны быть отнесены Н. Д. Зелинский, А. Е. Фаворский, И. Л. Кондаков и основоположник современной органической химии А. М. Бутлеров.

Исследования этих ученых обеспечили Советскому Союзу приоритет в научных исследованиях по синтезу каучука и в создании производства синтетического каучука.

В 1932 году в Советском Союзе по инициативе ЦК ВКП(б) был впервые в мире осуществлен крупнопромышленный синтез каучука, в результате чего отечественная резиновая промышленность смогла в дальнейшем перевести производство основных видов резиновых изделий на синтетический каучук.

В настоящее время промышленность Советского Союза производит несколько видов синтетических каучуков, имеющих различное назначение в технике.

Выступая на заседании Академии наук СССР в 1932 году, Сергей Васильевич Лебедев, создатель советского метода получения синтетического каучука, охарактеризовал возможности науки в области синтеза каучуков следующими словами: «Синтез каучуков — источник бесконечного многообразия. Теория не кладет границ этому многообразию. А так как каждый новый каучук является носителем своей оригинальной шкалы свойств, то резиновая промышленность, пользуясь наряду с натуральным также и синтетическими каучуками, получит недостающую ей сейчас широкую свободу в выборе нужных свойств. Для одного каучука характерна большая механическая прочность, для другого — сопротив-

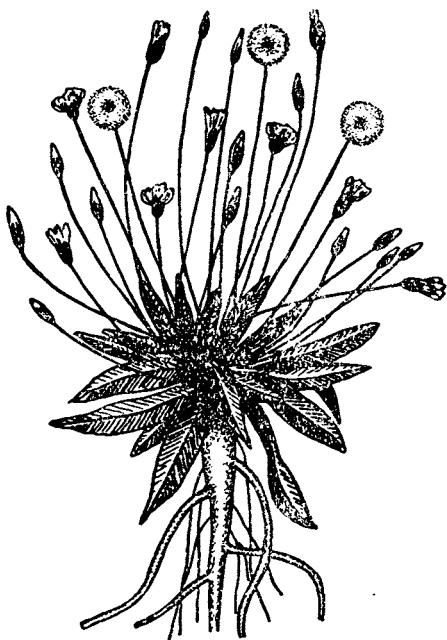


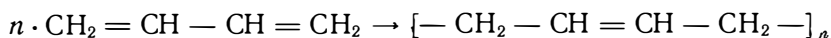
Рис. 34. Кок-сагыз.

ляемость истиранию, для третьего — стойкость при повышенных температурах, для четвертого — сохранение эластичности при низких температурах и т. д. Вот почему сейчас с полной уверенностью можно утверждать, что резиновая промышленность недалекого будущего будет базироваться на нескольких каучуках — натуральном и синтетических».

Работы в области синтетического каучука, проводимые советскими учеными, блестяще подтвердили слова академика С. В. Лебедева. Специализация свойств позволяет использовать современные синтетические каучуки в самых разнообразных отраслях техники.

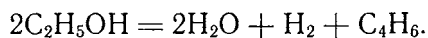
Синтетические каучуки должны рассматриваться не как «заменители» натурального каучука, но как полноценные продукты, применение которых позволяет решить ряд специальных задач техники.

Исходными материалами для получения синтетических каучуков являются мономеры, вещества способные полимеризоваться с образованием высокомолекулярных эластичных продуктов. Например, путем полимеризации дивинила или бутадиена может быть получен дивиниловый или бутадиеновый каучук (СК-Б).



Дивинил получается при разложении паров этилового спирта при нагревании до 400—420°C в присутствии катализаторов по методу академика С. В. Лебедева.

Примерная схема реакции разложения спирта может быть представлена уравнением:



Полимеризация дивинила производится в автоклавах в присутствии катализатора — металлического натрия. Поэтому иногда дивиниловый каучук называется также натрийдивиниловым каучуком.

Путем полимеризации изобутилена может быть получен полиизобутиленовый каучук или вистанекс, полимеризацией хлоропрена — полихлоропреновый каучук и т. д.

В воздушноплавании синтетические каучуки широко применяются для прорезинивания баллонных материй. Меньшая газопроницаемость и большая устойчивость к действию атмосферных условий синтетических каучуков по сравнению с натуральным позволили советским технологам разработать новые высококачественные баллонные материи для оболочек аэростатов.

Большинство синтетических каучуков при нагревании с серой способны вулканизоваться. При этом физико-механические свойства каучуков значительно улучшаются. Основные свойства вулканизатов синтетических каучуков приведены в табл. 5.

Как видно из данных, приведенных в таблице 5, значение предела прочности при разрыве большинства ненаполненных синтетических каучуков невысоко, но при введении в каучуки наполнителей (активной сажи) прочность каучуков резко возрастает.

В отличие от прочих, приведенных в таблице 5, синтетических каучуков, вулканизаты каучука СКН-26 отличаются выдающейся маслостойкостью, в связи с чем резины на основе этого каучука широко используются для изготовления шлангов и баков, предназначенных для перекачки и хранения горючих жидкостей.

Таблица 5

Показатели	Наименование каучука				
	СК-Б	СКС-30	СКН-26	П-200	бутил-каучук
Удельный вес каучука в $г/см^3$	0,90—0,92	0,944	0,962	0,91—0,93	0,93
Предел прочности при разрыве ненаполненной резины в $кг/см^2$	18—22	35—50	30—45	30—50	180—220
Относительное удлинение ненаполненной резины в %	550—600	600—700	500—600	1000	850—950
Предел прочности при разрыве наполненной сажей резины в $кг/см^2$	125—155	220—280	240—300	60—100	160—220
Относительное удлинение наполненной сажей резины в %	500—650	550—650	550—650	600—700	650—800
Температура хрупкости вулканизата $^{\circ}C$	—42	—54	—30—35		—45
Водородопроницаемость в $см^2/сек/атм$ при 20°	27,0	25,2	9,1	3,7	3,7

Примечание. СК-Б — натрийдивиниловый каучук; СКС-30 — сополимер дивинила (70) со стиролом (30); СКН-26 — сополимер дивинила (74) с нитрилом акриловой кислоты (26), П-200 — полиизобутилен с молекулярным весом 200 000; бутилкаучук — сополимер изобутилена с изопреном.

в) Изготовление прорезиненных баллонных материй

В воздухоплавании прорезиненные баллонные материи имеют широкое распространение. Оболочки сферических и привязных аэростатов, мягких и полумягких дирижаблей и стратостатов изготавливаются в настоящее время исключительно из прорезиненных баллонных материй. Газодержащим слоем этих материй служит тонкая резиновая пленка из натурального или синтетического каучука. Наши отечественные баллонные материи в настоящее время изготавливаются исключительно на основе синтетических каучуков, которые по ряду своих физико-механических свойств превосходят натуральный каучук. Но сама резиновая пленка, выполняя ответственную роль газодержащего слоя, не может служить материалом, воспринимающим напряжения, возникающие в оболочках при эксплуатации аэростатов. Эту силовую нагрузку принимают на себя ткани, на которые нанесен газодержащий слой.

Процесс изготовления баллонных материй является процессом тонкой химической технологии, малейшее отступление от которого может привести к непоправимому браку. Плохие качества баллонной материи могут выявиться не только сразу по изготовлении материи на заводе, но также и в первый период эксплуатации аэростата.

Процесс изготовления прорезиненных баллонных материй состоит из следующих операций:

1) отбор баллонного каучука со склада в производство и анализ каучука;

2) отбор ингредиентов для изготовления резиновых смесей;

3) развеска в подготовительном отделе завода каучука и ингредиентов в соответствии с установленной рецептурой и доставка развешенных материалов в цех вальцовки;

4) пластикация (вальцевание) каучука и введение ингредиентов в сальцованный каучук;

5) изготовление резиновых клеев установленной концентрации, т. е. получение растворов каучука в бензине;

6) нанесение резинового клея на ткань на горизонтальной промазочной машине;

7) изготовление косякового слоя (кошение) в случае производства диагонально-дублированных баллонных материй;

8) дублировка, т. е. соединение параллельного и косякового слоев на дублировочном каландре;

9) нанесение на баллонную материю защитного окрашенного слоя на промазочной машине;

10) вулканизация баллонной материи;

11) разбраковка баллонной материи по внешнему виду: складки, ошпары, проколы, срыв красителя и т. п.;

12) испытание баллонной материи на прочность, удлинение, вес и газопроницаемость.

Каучук, хранящийся на складе завода, перед применением его в ответственных изделиях, подвергается анализу с целью проверки соответствия его качества техническим условиям.

Как правило, технические изделия изготавливаются не из чистого каучука, который в своем первоначальном виде не может удовлетворить требованиям технической эксплуатации, а из смесей каучука с ингредиентами, способствующими переводу каучука в резину. Основным ингредиентом в резиновых смесях является сера. Сырой каучук, смешанный с серой и прогретый при температуре 120—140°C, превращается в резину, свойства которой резко отличаются от свойств исходного каучука.

К техническим резиновым изделиям во многих случаях предъявляются специальные требования в отношении прочности, эластичности, морозостойкости, кислото- и маслостойкости, устойчивости к переменным нагрузкам, газонепроницаемости и т. д. Для удовлетворения этих требований в каучук вводится до вулканизации ряд веществ (ингредиентов), которые придают резине необходимые свойства.

Порошкообразные вещества, в том числе и сера, перед введением в резиновые смеси просеиваются через сита. Сита характеризуются числом отверстий на кв. см. В частности для просеивания серы сито должно иметь 1600 отверстий на кв. см., при этом отсев должен быть не более 0,1 %.

Процесс соединения сырого каучука с серой (вулканизация) с образованием резины протекает довольно медленно. Этот процесс значительно ускоряется при введении в сырой каучук специальных веществ — ускорителей вулканизации. Из ускорителей, применяемых для вулканизации резиновых слоев баллонных материй, известны:

1) альтакс — порошок белого или желтого цвета;

2) каптакс — желтый порошок с температурой плавления 172—174°C;

3) тиурам — серовато-желтый порошок, уд. вес 1,4, температура плавления 141—142°C.

Альтакс, каптакс и тиурам представляют собой сложные химические вещества органического происхождения.

Вулканизаты бутадиенового каучука, полученные с применением серы и ускорителей, обладают небольшой прочностью, порядка 15—20 кг/см².

Для увеличения прочности в резиновые смеси добавляются вещества,

увеличивающие прочность вулканизованного каучука, примерно, до 150—200 кг/см². Эти вещества называются усилителями.

Главными усилителями для синтетических каучуков являются сажи. Усиливающее действие саж заключается в установлении прочных связей между частицами каучука и частицами сажи.

В резиновой промышленности в качестве усилителей применяются следующие сорта сажи:

1) канальная (газовая) сажа, получаемая в результате неполного сгорания естественного нефтяного газа;

2) ламповая сажа, представляющая продукт неполного сгорания зеленого масла, мазута и других продуктов из нефти;

3) форсуночная сажа, получаемая из того же сырья как и ламповая, но по несколько иному технологическому процессу.

Известны также сажи, получаемые путем неполного сжигания природного газа, дающие высокий эффект усиления резиновых смесей. Другие усилители, как то: каолин, цинковые белила, жженая магнезия — в меньшей степени увеличивают прочность каучука и поэтому для ответственных резиновых изделий имеют второстепенное значение.

Следующей группой веществ, вводимых в резиновые смеси, являются мягчители. Целью введения мягчителей является облегчение обработки резиновых смесей и обеспечение равномерности распределения порошкообразных веществ в каучуке. Существуют мягчители, введение которых имеет особо важное назначение, например, увеличение морозостойкости резиновых изделий. Из мягчителей, применяемых в резиновой промышленности, следует отметить следующие: парафин, вазелин, стеарин, сосновая смола и другие.

Важной группой веществ, вводимых в каучук, являются также противостарители (антиоксидаты), целью введения которых является увеличение срока службы резин в условиях повышенной температуры, непосредственного действия солнечных лучей и переменных механических напряжений, возникающих в резине при эксплуатации изделий.

Противостарители — сложные органические вещества, из которых наиболее часто применяются неозон *D* и альдоль.

Процесс производства баллонных материй осуществляется по заранее составленной технологической карте. Предварительно для изготовления резиновых смесей производится отвешивание каучука и ингредиентов. Эта операция производится в подготовительном отделе завода, где отобранный каучук и просеянные ингредиенты после отвешивания упаковываются в соответствующую тару для отправки в цех пластикации каучука.

Пластикация (вальцевание) каучука — весьма ответственный процесс, который преследует цель: повышение пластичности каучука путем его механической обработки.

В процессе пластикации каучук подвергается механическому перемешиванию при повышенной температуре и окислению кислородом воздуха.

Простейшей машиной для пластикации являются стальные валки, которые движутся навстречу друг другу с различной скоростью.

Машина для пластикации называется вальцами, отсюда и процесс пластикации именуется вальцеванием. (Схема вальцов показана на рис. 35).

Основной частью вальцов являются полые металлические валки. При вращении валков каучук втягивается в зазор между ними, раз-

давлируется и перемешивается. Внутренняя поверхность валков охлаждается водой.

Кроме основной цели — увеличения пластичности каучука, при вальцевании достигаются следующие свойства:

- а) увеличение растворимости каучука;
- б) уменьшение вязкости растворов каучука;
- в) увеличение клейкости;
- г) повышение химической активности каучука.

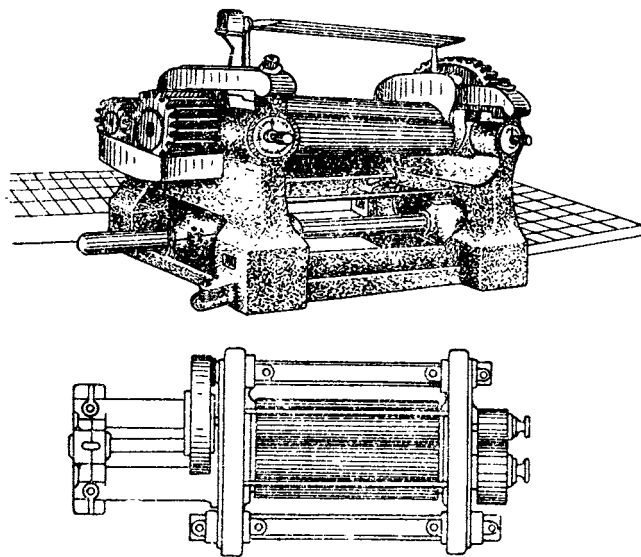


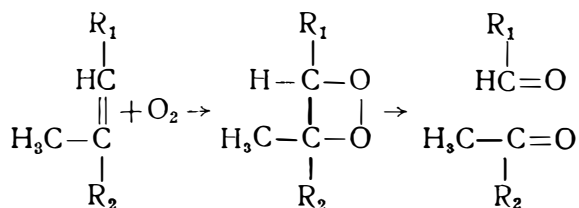
Рис. 35. Схема вальцов.

В первые 15—20 минут вальцевания происходит резкое повышение пластичности; дальнейший процесс пластикации (вальцевания) незначительно увеличивает пластичность каучука.

При пластикации каучук перемешивается с воздухом, причем кислород воздуха присоединяется к каучуку по месту двойных связей.

В месте присоединения кислорода происходит разрыв углеводородной цепочки, т. е. распад молекулы каучука. В результате процесса присоединения кислорода размеры молекул уменьшаются и, как следствие, падает эластичность каучука и увеличивается его пластичность, уменьшается вязкость растворов и повышается химическая активность каучука.

Окислительный процесс протекает по уравнению:



Процесс пластикации является сложным процессом, в результате которого каучук подвергается механической, тепловой и химической обработкам. Синтетические каучуки типа натрий-дивинилового каучука

не требуют специального процесса пластикации и существенно не изменяют своей пластичности при вальцевании.

Следующей основной операцией, осуществляемой после пластикации, является смешение каучука с ингредиентами. Задача смешения состоит в том, чтобы равномерно распределить ингредиенты в массе каучука. Обычно процесс смешения заключается в механическом введении в разогретый на вальцах каучук порошкообразных или других примесей. Порядок и время введения ингредиентов указываются в технологической карте. Большей частью в начале смешения в каучук вводятся мягчители, облегчающие равномерное распределение остальных ингредиентов. Далее вводится сажа, ускорители и сера, которая обычно вводится в конце смешения. Каучук, перемешанный с ингредиентами, носит название резиновой смеси. Смесь срезается с вальцов в виде листов, охлаждается и направляется в цех клеешалок для изготовления резинового клея.

Процесс изготовления резинового клея заключается в том, что резиновая смесь, приготовленная в цехе пластикации, растворяется в бензине.

Для изготовления баллонных материй применяются клеи двух типов: жидкие и густые. Жидкий клей имеет концентрацию 1 : 8 или 1 : 6, а густой клей — концентрацию 1 : 1,5 — 1 : 2,5. Само понятие концентрации означает, что на единицу веса резиновой смеси приходится по весу столько-то весовых единиц растворителя, например, концентрация 1 : 3 означает, что на 1 кг резиновой смеси взято 3 кг растворителя.

Для изготовления резиновых клеев применяются клеешалки, которые в основном состоят из резервуара с размещенными в нем вращающимися зигзагообразными лопастями. Схема одной из таких клеешалок показана на рис. 36.

Емкость клеешалок составляет 200—2000 литров. Резиновая смесь, предварительно отвешенная в необходимом для изготовления клея коли-

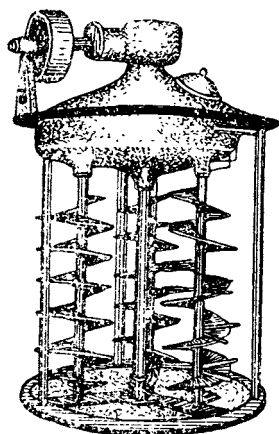


Рис. 36. Вертикальная клеешалка.

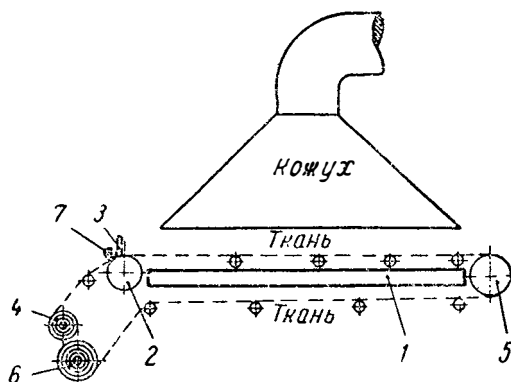


Рис. 37. Схема клееломазочной машины.

честве, разогревается на вальцах. В клеешалку заливают небольшое количество бензина, приводят ее в действие и порциями вводят резиновую смесь. Бензин добавляют в несколько приемов. Операция изготовления клея продолжается около 2 часов. Клей сливают в тару с крышками и берут пробу для контрольных испытаний в лаборатории.

Для изготовления резиновых клеев, используемых в производстве баллонных материй, применяется бензин марки «Галоша» с удельным весом 0,730 при 20°C и началом кипения не ниже 80°. После приготовления резинового клея приступают к следующей операции — прорезиниванию тканей. Этот процесс производится в специальном цехе на клеепромазочных машинах. Схема такой машины показана на рис. 37.

Клеепромазочная машина (шпреди́нг-машина) имеет плиту 1, над которой проходит ткань. У переднего края плиты смонтирован рабочий вал машины 2 диаметром 250—300 мм и длиной до 2,5 м. Над рабочим валом расположен нож машины 3, соприкасающийся с валом по всей его длине.

Ткань, разматываемая с ролика 4, поступает в узкую щель между ножом и валом и, пройдя над плитой, огибает натяжной барабан 5, после чего наматывается на ролик 6. Клей накладывается на ткань деревянной лопаточкой перед ножом машины. При вращении рабочего вала у ножа образуется «клеевой валик» 7.

Ткань, выходя из-под ножа машины, имеет на своей поверхности тонкий слой резинового клея. При прохождении над плитой растворитель клея (бензин) испаряется и на поверхности ткани остается тонкий слой резиновой смеси.

Над плитой промазочной машины установлен кожух, через который отсасывается воздух вместе с парами бензина. В последнее время плиту машины помещают полностью в замкнутый кожух и применяют специальные установки для поглощения паров растворителя. В этом случае растворитель вновь может быть использован в технологическом процессе.

При изготовлении прорезиненных баллонных материй слои резиновой смеси наносятся на ткань в несколько приемов. Для этого один и тот же кусок ткани пропускается через промазочную машину столько раз, сколько указано слоев в технологической карте, с общим весом 105—110 г/м². Куски ткани склеиваются до длины 200—400 м.

Правильность наложения резиновых слоев проверяется путем взвешивания всего куска ткани до и после каждого промазывания.

Плита подогревается паром, давление которого контролируется по манометру.

Кроме необходимого давления, в технологической карте предусматривается также и скорость прохождения ткани над плитой, обычно в пределах 8—18 м/мин. Температура плиты и скорость движения ткани должны обеспечить полное испарение растворителя из слоя резиновой смеси. В баллонных материях неполное испарение растворителя может привести к браку по газопроницаемости. Наличие паров бензина в воздухе при работе на клеепромазочной машине представляет пожарную опасность. Трение прорезиненной ткани на натяжном барабане и роликах машин способствует возникновению зарядов статического электричества, которые при разряде могут давать искры. Для уменьшения пожарной опасности машину заземляют, а с ткани при помощи бахромы из латуни отводят заряды статического электричества.

При изготовлении однослойной материи процессом нанесения резиновых слоев на ткань заканчивается операция ее изготовления в сыром виде и в дальнейшем такая материя подвергается непосредственно вулканизации. При изготовлении двухслойных и трехслойных баллонных материй вулканизации предшествует ряд операций, в процессе которых создается конструкция материи.

В двухслойных материях газодержащий слой, расположенный между двумя слоями ткани, должен иметь определенный вес резины на

1 м². Обычно этот вес при использовании хлопчатобумажных тканей составляет около 100 г/м². В этом случае на каждый кусок ткани наносят примерно половину этого веса и потом оба куска ткани дублируют (соединяют) теми поверхностями, на которых нанесены резиновые слои. Процесс соединения носит название дублирования и производится на машинах, называемых дублировочными каландрами. (Схема процесса дублирования показана на рис. 38).

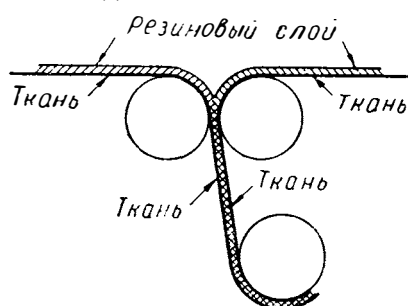


Рис. 38. Схема дублировки прорезиненных тканей.

При изготовлении параллельно-дублированной баллонной материи, у которой нити основы одного слоя ткани параллельны нитям основы другого слоя ткани, два слоя ткани просто соединяются параллельно друг друга.

Несколько сложнее процесс изготовления диагонально-дублированной баллонной материи, у которой нити основы и утка первого слоя ткани расположены под углом в 45° к нитям основы и утка второго слоя ткани. В этом случае один слой ткани с нанесенным на него резиновым слоем оставляют без изменения, а другой слой ткани подвергают дополнительной операции — кошению.

Кусок прорезиненной однослойной ткани при помощи специальных шаблонов размечают на «косяки» ромбической формы таким образом, чтобы стороны *б* (рис. 39) были бы наклонены под углом в 45° к кромкам куска.

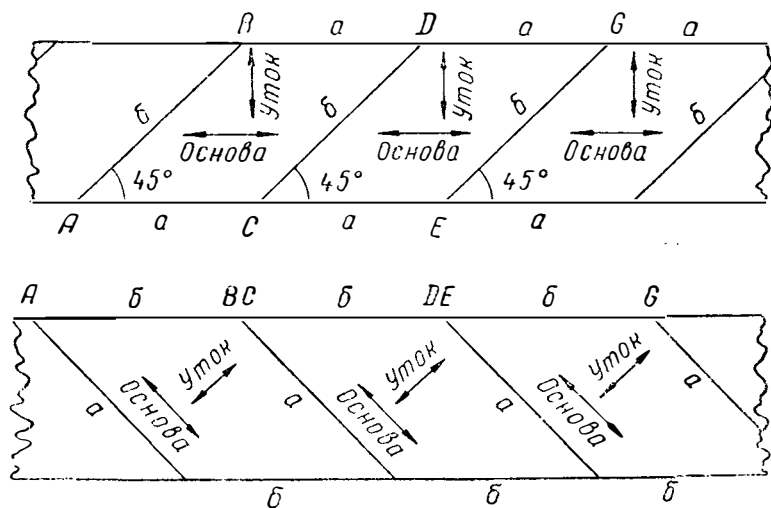


Рис. 39. Кошение баллонной материи.

Кусок разрезается по сторонам *б* и полученные косяки вновь склеиваются в целый кусок таким образом, чтобы прежние стороны *б* составили бы кромки вновь полученного куска, а стороны *а* были бы направлены под углом в 45° к кромкам. Во вновь образованном куске основа и уток будут направлены под углом в 45° к кромкам так, как это показано на рис. 39. При изготовлении диагонально-дублированной баллонной материи процесс дублировки аналогичен указанному на рис. 38,

После дублирования на наружную поверхность двухслойной баллонной материи в большинстве случаев наносятся защитные резиновые слои, окрашенные сажей и алюминиевым порошком. Для этой цели готовятся отдельные клеи, которые и наносятся на наружную поверхность баллонной материи на клеепромазочных машинах указанным выше способом.



51

При вулканизации вначале происходит плавление серы, которая образует в резиновой смеси небольшие постепенно исчезающие капельки. Это исчезновение обусловливается растворением серы в каучуке и химическим взаимодействием серы с каучуком. По современным воззрениям вулканизованный каучук обладает пространственной структурой. В сыром каучуке (рис. 40, а) молекулы сохраняют свою обособленность; в вулканизованном каучуке (рис. 40, б) молекулы связаны друг с другом местными связями так, что вся масса представляет собой единую пространственную сетку. Отдельные нитевидные молекулы связаны «мостиками», которые образованы атомами или группами атомов вулканизирующего агента — серы. Пространственная структура удачно объясняет эластичность, повышенную механическую прочность и стойкость к нагреванию резины.

47

с временем, точно указанным в технологической карте. Кроме времени на проведение процесса вулканизации, предусматривается также время на напуск и спуск пара; напуск пара занимает около получаса, спуск пара из котла — 7—8 минут. Для баллонных материй особенно важно, чтобы процесс вулканизации был тщательно выполнен. Недовулканизованная баллонная материя непригодна для изготовления оболочек, так как при смятии оболочек в газодержащем слое баллонной материи могут появиться сдвиги резинового слоя, увеличивающие в сильной степени газопроницаемость материи. Для контроля процесса вулканизации применяют контрольные аппараты (самописцы), показывающие величину давления пара в котле за весь период вулканизации. Примерная контрольная диаграмма процесса вулканизации приведена на рис. 42. По диаграмме судят о правильности режима вулканизации.

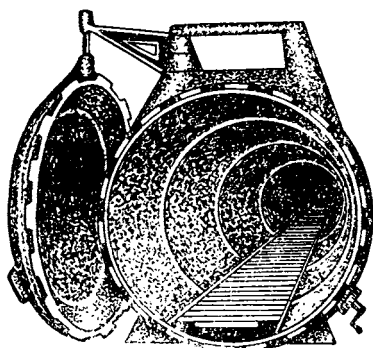


Рис. 41. Вулканизационный котел.

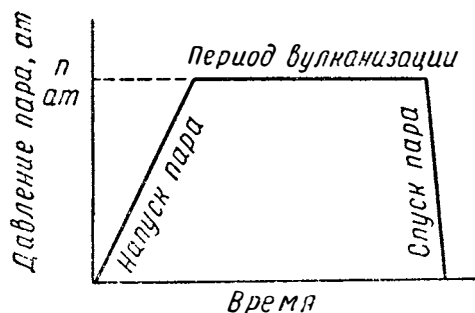


Рис. 42.

Процесс вулканизации баллонных материй можно осуществлять и в специальных камерах, в которые материя поступает не в рулонах, а в развернутом виде. Подобный процесс обеспечивает более равномерную вулканизацию.

По окончании вулканизации каждый кусок баллонной материи испытывается на прочность, удлинение, газопроницаемость и вес 1 м^2 . Куски баллонной материи разбраковываются по внешним порокам и поступают в цех для изготовления оболочек.

10. Изготовление аэростатных канатов (тросов)

Изготовление проволок было известно еще древним. В некоторых музеях демонстрируются образцы проволок, изготовление которых относится к эпохе за 800 лет до нашей эры.

Вначале проволока изготовлялась путем расплющивания металла в тонкие листы с последующим разрезанием листов на тонкие нити — проволоки. Позже научились протягивать проволоку через отверстия в волоочильных досках. До XV века волочение проволоки производилось ручным способом. С XVI века для волочения стали применять механическую силу воды.

Проволока диаметром выше 5 мм носит название «катанки» и в прежнее время ковалась на наковальне. С появлением прокатных станов катанка стала изготовляться на них.

Для аэростатных канатов применяется стальная проволока. По своему составу стали разделяются на углеродистые и специальные. К последним относятся хромовая, никелевая, ванадиевая, молибденовая,

вольфрамовая, алюминиевая, хромоникелевая, никель-молибденовая и другие. Канатная проволока изготавливается обычно из углеродистой стали, лишь в последнее время появилась тенденция к замене углеродистых сталей на специальные стали в связи с возросшими требованиями к тросам. В этом отношении для канатной проволоки должна представлять особый интерес ванадиевая сталь, так как введение ванадия увеличивает предел прочности и относительное удлинение стали.

На качество проволоки из углеродистой стали влияют отдельные элементы, входящие в состав металла проволоки, главными из которых являются: углерод, фосфор, сера, марганец и кремний.

Катанка, изготавливаемая на металлургических заводах, служит исходным материалом для сталепроволочных заводов, изготавливающих проволоку и стальные канаты (тросы). Химический состав катанки примерно следующий: углерод — 0,52—0,74%, марганец — 0,32—0,40%, кремний 0,19—0,25%, фосфор — 0,016—0,024%, сера — 0,06—0,015%. Предел прочности стали такого состава составляет 62—89 кг/мм², а относительное удлинение — от 15 до 24%. Сталь для проволоки, применяемой при изготовлении аэростатных тросов, характеризуется особо высоким пределом прочности. Проволока аэростатных тросов должна содержать углерод высшего предела, т. е. порядка — 0,7—0,75%, содержание марганца не должно превышать 1%, содержание серы и фосфора, сообщающих металлу красноломкость и хладоломкость, не должно быть в сумме больше 0,08%, а содержание кремния не должно быть выше 0,3%.

Металл канатной (тросовой) проволоки может иметь различную структуру. Структура металла проволоки зависит от ряда факторов: качества сырья, термической и механической обработки проволоки и т. д.

Большую помощь в выборе необходимого материала для проволоки и правильного направления сложного технологического процесса изготовления проволок, применяемых для канатов, оказывает применение метода металлографических исследований. Следует считать, что мелкозернистое строение металла характеризует хорошее качество проволоки. Мелкозернистая структура обеспечивает качество процесса волочения, влияющего на механические свойства металла. Примерный вид этой структуры показан на рис. 43. Мелкозернистое строение характерно для сорбитной и троститной структур.

Чисто сорбитная структура в практике получается не всегда и удовлетворительной считается структура, близкая к ней. В качестве примера на рис. 44 показано крупнозернистое строение металла для проволоки, рассматриваемое как удовлетворительное в производстве.

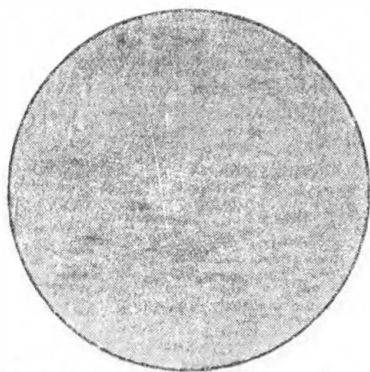


Рис. 43. Мелкозернистое строение.

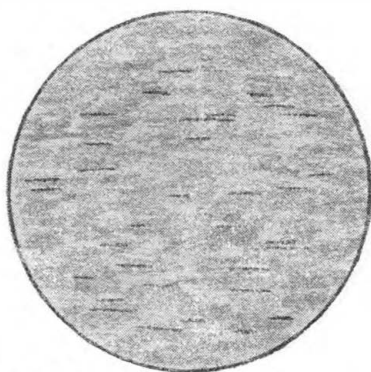


Рис. 44. Крупнозернистое строение.

В результате неправильной термической обработки может оказаться обезуглероженным слой верхнего покрова проволоки. Строение такого слоя показано на рис. 45.

В результате неправильного технологического режима в металле проволоки может вообще отсутствовать сорбитная структура. На рис. 46 показано примерное строение структуры проволоки с включением крупнозернистой структуры феррита (белые полосы).

Канаты (тросы), изготовленные из металла, структура которого приведена на рис. 46, не могут быть допущены для эксплуатации в качестве аэростатных тросов.

Катанка, т. е. круглая сталь, диаметром 5—6,5 мм, полученная путем специальной прокатки на станах, поступает на сталепроволочный

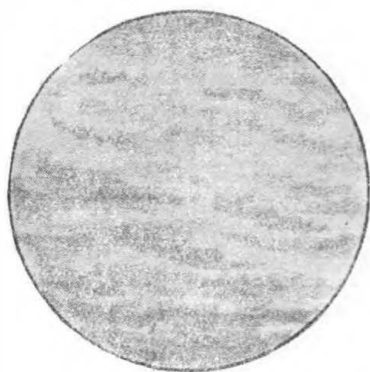


Рис. 45. Обезуглероженный слой верхнего покрова проволоки.

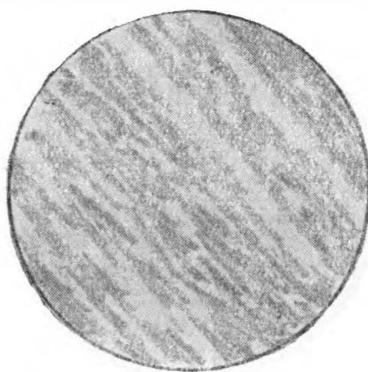


Рис. 46. Структура с ферритом.

завод. Для получения из катанки проволоки необходимы три основных процесса: химический, механический и термический. При изготовлении проволоки эти процессы последовательно чередуются несколько раз.

Первым процессом изготовления проволоки является процесс травления катанки в растворе серной кислоты слабой концентрации. Цель травления — очистить катанку от окислов (окалины) на ее поверхности. После травления катанку промывают водой, затем помещают в известковый раствор для нейтрализации кислоты и просушивают в камерах.

Вторым процессом обработки катанки является процесс волочения. Катанку пропускают (волочат) через фильеры (конические отверстия), достигая этим уменьшения сечения катанки и придавая ей соответствующую форму. После нескольких протяжек металл проволоки становится жестким и для дальнейшей обработки ему необходимо вернуть пластические свойства. Это достигается в третьем процессе — термической обработки проволоки. Процесс термической обработки заключается в нагреве проволоки в специальных печах до 800—900° и отпуске проволоки путем ее погружения сразу же после нагрева в ванну с растворенным свинцом, нагретым до температуры 430—500°.

После первого цикла, заканчивающегося термической обработкой, проволока вновь подвергается прежним операциям, но с добавлением процесса омеднения. Этот процесс заключается в погружении проволоки в раствор медного купороса. Образовавшийся на поверхности проволоки тонкий слой меди облегчает дальнейшее волочение проволоки.

Волочение производится на станках однократного и многократного волочения. Фильеры (конические отверстия) волочительных станков изготовляются из твердого сплава — победита.

Волочение катанки для превращения ее в проволоку необходимого диаметра совершается путем многократного пропускания через фильеры. После каждого цикла волочения проволока подвергается термической и химической обработке.

Общую схему циклов обработки при процессе волочения можно представить следующим образом:

Катанка диаметром 6 мм.

Волочение с диаметра 6 мм до диаметра 5 мм	1-й проход	$\left\{ \begin{array}{l} \text{станки однократного} \\ \text{волочения,} \\ \text{скорость волоче-} \\ \text{ния 65—80 м/мин} \end{array} \right.$
" " " 5 " " " 4,2 " 2 "	"	

После двух проходов следует термическая и химическая обработка.

Волочение с диаметра 4,2 мм до диаметра 3,7 мм	3-й проход	$\left\{ \begin{array}{l} \text{станки одно-} \\ \text{кратного воло-} \\ \text{чения, скорость} \\ \text{волочения —} \\ \text{65 м/мин} \end{array} \right.$
" " " 3,7 " " " 3,2 " 4 "	"	
" " " 3,2 " " " 2,6 " 5 "	"	
" " " 2,6 " " " 2,2 " 6 "	"	
" " " 2,2 " " " 1,8 " 7 "	"	

После семи проходов следует термическая и химическая обработка.

Волочение с диаметра 1,8 мм до диаметра 1,6 мм	8-й проход	$\left\{ \begin{array}{l} \text{станки одно-} \\ \text{кратного воло-} \\ \text{чения, скоро-} \\ \text{сть волоче-} \\ \text{ния —} \\ \text{54 м/мин} \end{array} \right.$
" " " 1,6 " " " 1,45 " 9 "	"	
" " " 1,45 " " " 1,30 " 10 "	"	
" " " 1,30 " " " 1,15 " 11 "	"	
" " " 1,15 " " " 1,00 " 12 "	"	
" " " 1,00 " " " 0,92 " 13 "	"	
" " " 0,92 " " " 0,77 " 14 "	"	
" " " 0,77 " " " 0,69 " 15 "	"	
" " " 0,69 " " " 0,63 " 16 "	"	

После шестнадцатого прохода проволока погружается в травильном отделении в мыльный раствор и подвергается сушке в течение трех часов. Эта операция смягчает протяжку и позволяет продлить срок работы фильер.

Волочение с диаметра 0,64 мм до диаметра 0,57 мм	17-й проход	$\left\{ \begin{array}{l} \text{станок мно-} \\ \text{гократного} \\ \text{волочения,} \\ \text{скорость во-} \\ \text{лочения—} \\ \text{64 м/мин} \end{array} \right.$
" " " 0,57 " " " 0,52 " 18 "	"	
" " " 0,52 " " " 0,47 " 19 "	"	
" " " 0,47 " " " 0,43 " 20 "	"	
" " " 0,43 " " " 0,40 " 21 "	"	

После последней протяжки проволока поступает в лабораторию для испытания на прочность и удлинение. Станки многократного волочения отличаются от станков однократного волочения тем, что в этих станках проволока проходит цикл уменьшения своего диаметра последовательно, без процесса намотки проволоки после каждого прохода на шпули или катушки, т. е. диаметр проволоки уменьшается после каждого из волочительных отверстий, поставленных последовательно друг за другом.

Термическая обработка проволоки производится двумя способами: цементированием или патенцированием. При цементировании бунты проволок после отжига в печах быстро погружаются на несколько секунд в свинцовую ванну. При патенцировании каждая отдельная проволока

пропускается через печь, где она нагревается до светлокрасного цвета (750—900°) и, выйдя из печи, попадает в свинцовую ванну. Патенцирование проволоки различных диаметров производится в печах длиной от 7 до 16 м, причем одновременно пропускается от 12 до 16 проволок. В процессе патенцирования проволока приобретает сорбитовую структуру, при которой достигается наибольшая способность проволоки к дальнейшему волочению. Полученная проволока идет или сразу на изготовление тросов или подвергается покрытию.

Проволока, предназначенная для изготовления азростатных тросов, подвергается дополнительной разбраковке и маркировке с целью отбора мотков проволоки с одинаковым пределом прочности. После разбраковки мотки проволоки направляются в цех изготовления прядей и тросов. Для предохранения от окисления на проволоку иногда наносится защитное покрытие. Наиболее распространенным видом покрытия является нанесение на поверхность проволоки слоя металлического цинка (цинкование). Проволока, не имеющая покрытия, называется светлой, несмотря на относительно темный цвет ее поверхности (результат процесса омеднения). Нанесение защитных покрытий имеет большое значение для увеличения срока службы тросов, так как влага, попадая внутрь троса, вызывает коррозию отдельных проволок троса.

Цинкование проволоки производится двумя способами: горячим и электролитическим.

Перед нанесением цинка требуется предварительное удаление с поверхности проволоки жиров и других загрязнений, что достигается путем обработки бунтов проволоки раствором каустической соды и кислотами (соляной или серной); иногда для получения совершенно чистой поверхности проволоку пропускают дополнительно через слой песка.

При горячем цинковании проволока протягивается через ванну, наполненную расплавленным цинком, который покрывает проволоку тонким слоем. Температура ванны с расплавленным цинком составляет 420—460°. Для очистки выходящей из цинковальной ванны проволоки от избытка пристающего к ней цинка применяют: кожаные подушки, асбестовую обмотку, пробковую прокладку, ножи с выемками или песок, которым посыпают поверхность расплавленного цинка в ванне. Под слой песка на расплавленный цинк обычно засыпается сначала слой порошкообразного угля.

Электролитический способ цинкования называется холодным способом. Сущность этого способа заключается в том, что цинк, служащий анодом, растворяется под влиянием электрического тока, пропускаемого через ванну с электролитом. Проволока, медленно протягиваемая через ванну, представляет собой катод, на который и оседает цинк. Для цинкования проволоки важно, чтобы получаемое цинковое покрытие было мелкокристаллическим, а поверхность проволоки была хорошо подготовлена. В состав электролита входят сернистый цинк, глауберова соль, хлористый цинк, борная кислота, хлористый аммоний, лимоннокислый натрий и виноградный сахар. Проволока может подвергаться цинкованию, будучи также подвешена в мотках, но ее обычно располагают в ванне параллельными рядами, под которыми располагаются цинковые аноды. Полученное цинковое покрытие имеет толщину в 0,025—0,050 мм. После цинкования вес проволоки несколько увеличивается.

Из оцинкованной проволоки изготавливаются пряди путем скручивания отдельных проволок вокруг сердечника. Конечное изделие (трос) получается путем свивки из отдельных прядей. Свивка прядей и тросов характеризуется так называемым шагом свивки. Шагом свивки назы-

ваётся расстояние по оси пряди или троса, на котором проволока или прядь делают полный оборот. На рис. 47 представлена схема свивки. Шаг свивки обычно выражается числом, представляющим отношение шага к диаметру пряди или троса. Для выражения шага свивки в мм необходимо диаметр пряди или троса умножить на это отношение. В аэростатных канатах шаг свивки принят обычно 10- или 12-кратный.

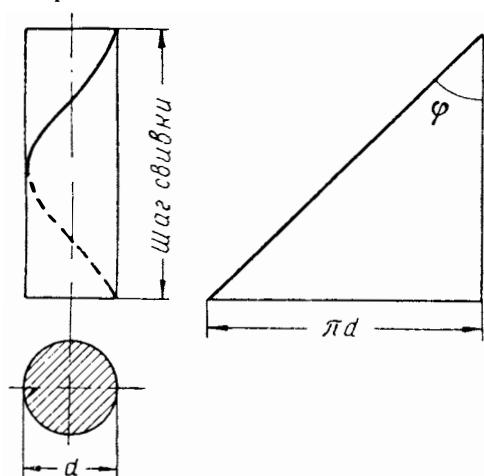


Рис. 47. Шаг свивки.

По роду свивки канаты различаются: одинарной (спиральной) свивки, двойной и тройной свивки. Нельзя смешивать свивку с так называемой повивкой. Свивкой называется способ свивания отдельных прядей в канат (иногда

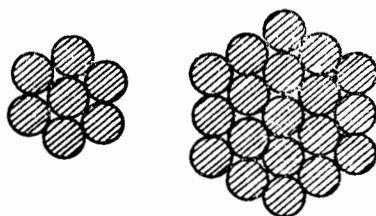


Рис. 48.

пряди свиваются в стренги, а стренги в канат; проволоки могут также быть свиты непосредственно в канат), а повивка означает способ строения концентрических рядов проволок, обвиваемых вокруг металлического или органического сердечника.

Спиральные (одинарные) канаты представляют собой одну прядь из нескольких повивок (концентрических кругов) (схема этих канатов представлена на рис. 48).

Сердечник канатов может быть изготовлен из органического материала (пеньки), что придает канату большую гибкость.

Для аэростатных тросов (канатов) наибольшую ценность представляют канаты двойной свивки, обладающие большой гибкостью и некоторыми преимуществами при эксплуатации (малая раскручиваемость при обрыве, относительная простота сращивания, удобство заплетки в коуш). Обыкновенные канаты двойной свивки изготавливаются по принципу односторонней свивки, т. е. проволоки свиваются в пряди в ту же сторону, как пряди свиты в канат.

На рис. 49 показана схема такого каната.



Рис. 49.

Из этой схемы видно, что проволоки в прядях каната расположены под углом к оси самого каната. При обрыве такой канат расплетается по прядям на большую длину, что требует, в свою очередь, большой

длины вырубки каната перед процессом сращивания. По типу изготовления этот канат аналогичен канатам одинарной свивки, но в отличие от них он обладает большей гибкостью, так как отдельные проволоки заменены прядями.

Лучшей конструкцией канатов двойной свивки надо считать канаты крестовой свивки, имеющие преимущественное применение в качестве аэростатных тросов. В этих канатах проволоки в пряди свиваются в одну сторону, а сами пряди в канате свиваются в противоположную сторону. Конструкция такого каната показана на рис. 50.

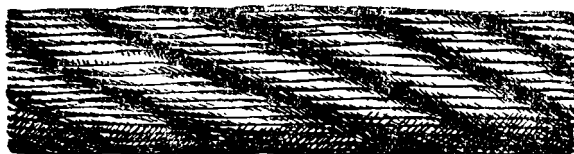


Рис. 50. Канат крестовой свивки.

В канатах крестовой свивки проволоки в отдельных прядях расположены вдоль оси самого каната. При обрыве этот канат расплетается на сравнительно малую длину. Сращивание этого каната не представляет особых затруднений. При наличии органических сердечников в канате (ось каната) и в прядях конструкция крестовой свивки обеспечивает высокую гибкость каната. На рис. 51 представлена схема поперечного сечения такого каната с органическими сердечниками.

Канаты (тросы) тройной свивки не имеют применения для аэростатов. В этих канатах проволоки свиваются в пряди, которые свиваются в стренги, а стренги свиваются в канат. Особый интерес представляют канаты, не раскручивающиеся при разрезании, так как в этом случае отпадает необходимость шпаловки концов каната. В этих канатах, перед их изготовлением, каждая проволока предварительно подкручивается соответственно шагу свивки в изготавливаемом канате.

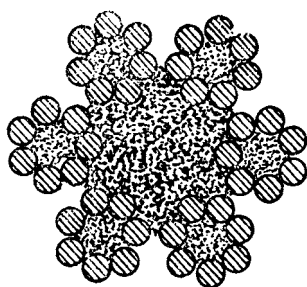


Рис. 51. Схема поперечного сечения каната крестовой свивки с органическим сердечником.

В канатах (тросах) применяются твердые (металлические) и мягкие (органические) сердечники. Твердые сердечники состоят из одной или нескольких проволок, а иногда и из целой пряди. Мягкие сердечники изготавливаются из пеньки, джута и из хлопчатобумажной пряжи. Мягкие сердечники применяются для аэростатных тросов и имеют много достоинств, главными из которых являются сопротивление внезапным сотрясениям и ударам, гибкость, эластичность и способность поглощать смазочные материалы для защиты проволок, расположенных внутри троса, от ржавчины. В процессе изготовления каната (троса), органические сердечники должны быть хорошо пропитаны смазочными материалами.

Мягкий сердечник должен иметь одинаковый диаметр по всей длине, без утолщений, узлов и включений костры. Необходимо, чтобы сердечник при изготовлении каната возможно лучше заполнял пустоту внутри прядей и между прядями в канате, так как иначе при слабом заполне-

нии в тросе может появиться вдавливание проволок и прядей внутрь каната.

Хлопчатобумажные сердечники для аэростатных тросов состоят из одной или нескольких нитей, сложенных вместе или слабо свитых между собой; центральный сердечник применяется в виде пряди, крученой веревки или фала.

Конструкции тросов имеют специальное обозначение. В этом обозначении, кроме типа свивки, указывается число прядей, число проволок в пряди и количество органических сердечников.

Например: трос двойной крестовой свивки: $6 \times 6 + 7$ о. с. означает, что трос состоит из шести прядей, каждая прядь — из шести проволок, т. е. всего в тросе имеется 36 проволок. Кроме того, трос имеет семь органических сердечников по одному в каждой пряди и один центральный сердечник.

Конструкция троса двойной крестовой свивки

$$6 \times 19 + 7 \text{ о. с.}$$

означает, что трос состоит из шести прядей, каждая прядь — из 19 проволок и трос имеет 7 органических сердечников.

Конструкция $6 \times 1 + 1$ о. с. означает, что трос одинарный (спиральный) состоит из шести проволок и одного центрального органического сердечника (иногда эту конструкцию обозначают $1 \times 6 + 1$ о. с.).

Первой операцией при производстве тросов является намотка проволоки на металлические катушки (шпули), которые в дальнейшем устанавливаются на прядевьющей машине. Для свивки аэростатных тросов обычно используется шесть катушек с диаметром каждой катушки в 150 мм. Намотанные катушки переносятся на прядевьющую машину, схема которой показана на рис. 52.

Принцип действия прядевьющей машины заключается в том, что проволока сматывается с катушек (шпуль), вращающихся вокруг оси машины, с одновременной продольной (вдоль проволоки) подачей. Благодаря вращательному и поступательному движению проволоки образуется прядь, свитая по спирали. При свивке прядей из отдельных проволок соотношение вращательного и поступательного движения регулируется системой сменных шестерен, посредством которых можно устанавливать шаг свивки пряди или троса. Из прядей изготавливается канат (трос). Изготовление каната аналогично изготовлению пряди, но для этой цели на катушки наматывается не проволока, а пряди и изготовление канатов производится на канатовьющих машинах (горизонтальные корзиночные станки).

Готовый трос испытывается с целью получения следующих основных физико-механических характеристик:

- 1) диаметр троса в мм;
- 2) разрывное усилие в кг;
- 3) вес одного погонного метра в г;
- 4) разрывная длина в м;
- 5) относительное удлинение при разрыве в %;
- 6) шаг свивки (кратность).

Указанные характеристики определяются в лаборатории при испытании образцов троса. Разрывное усилие и удлинение определяются на разрывных машинах. Диаметр определяется штангенциркулем, причем, при четном числе прядей необходимо, чтобы щечки измерителя касались только одной пряди (рис. 53), а не сразу двух соседних прядей. Разрывная длина определяется как отношение разрывного усилия в килограмм-

мах к весу одного погонного метра троса в килограммах. Например: разрывное усилие троса составляет 1200 кг, вес одного погонного метра троса — 40 г или 0,04 кг. Тогда разрывная длина будет:

$$\frac{1200}{0,04} = 30\,000 \text{ м.}$$

По физическому смыслу разрывная длина представляет такую длину троса, при которой трос оборвался бы под влиянием собственного веса. Готовый трос на заводе наматывается на деревянную катушку (рис. 54),

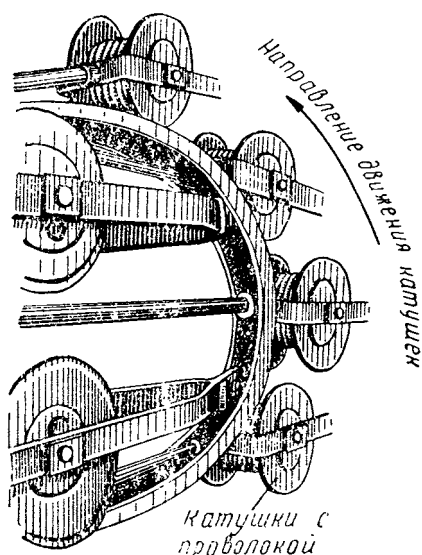


Рис. 52. Схема прядельной машины.

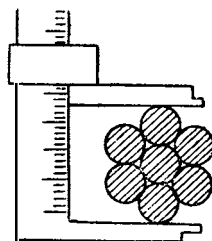


Рис. 53. Измерение диаметра каната.

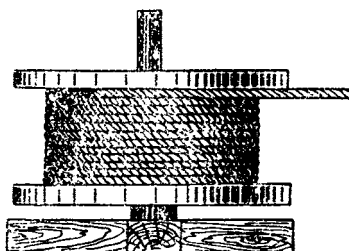


Рис. 54. Катушка с тросом.

которая при транспортировке закрывается с боковин деревянными планками. При распаковке катушек и сматывании с них тросов нельзя допускать образования петель или «барашков» (рис. 55), так как послед-



Рис. 55. Образование барашка.

ние, даже после выпрямления, понижают прочность троса на 10 и даже более процентов.

11. Изготовление веревочных изделий для аэростатов и парашютов

Чтобы привязать оболочку аэростата к стальному тросу или присоединить груз к куполу парашюта, необходима гибкая система, равномерно передающая усилия с троса на баллонную материю оболочки аэро-

стата или с груза на купол парашюта. Гибкая система такого рода представляет собой обычно группу веревок или шнуров, закрепленную в точке подвески троса (аэростат) или груза (парашют).

Лучшим материалом для веревок является лен, качеством которого по праву гордится наша Родина. Из льна, главным образом, и изготавливается веревочный такелаж для аэростатов.

Канаты (веревки) для аэростатного такелажа должны удовлетворять следующим основным требованиям:

а) оптимальная работа разрыва, т. е. максимальная прочность при большом удлинении;

б) наивыгоднейшая живучесть при работе на трение;

в) максимальная гибкость.

Изготавливаемые в настоящее время льняные нитки являются по прочности и гибкости лучшим исходным материалом для изготовления аэростатного такелажа.

Из льняных ниток скручивают пряжи, а из прядей свивают льняные канаты.

Изготовлению льняных канатов предшествует изготовление льняных ниток. Этот процесс в большой степени сходен с изготовлением хлопчатобумажной пряжи. Сырьем для производства льняных ниток является трепаное льняное волокно, которое поступает в прядильный цех с заготовительных пунктов в виде кип. Первым процессом подготовки льняного волокна к прядению является прочес волокна. Прочес производится на специальных машинах и преследует цели: раздробление сложных волокон на более тонкие волокна, удаление грубых коротких волокон и костры, параллелизация и выпрямление волокон, получение волокна однородного по длине, крепости, тонине и чистоте. Прочесанное волокно поступает на машину для образования из волокна ленты. Полученная вначале лента неравномерна по толщине, так как волокна в ленте расположены в беспорядке. Для устранения неравномерности ленту пропускают через ряд последовательных ленточных машин с целью выпрямления и вытягивания волокон. Прочес волокон в ленте производится гребнечесальными приспособлениями, которые расщепляют технические волокна на более тонкие и короткие волокна и утоньшают ленту. Каждая последующая ленточная машина имеет гребнечесальное приспособление с более тонкими, мелкими и более густо насаженными иглами. В процессе прочеса ленты подвергаются также дублированию с целью дополнительного выравнивания лент по толщине. Полученные ленты поступают на прядильные машины, на которых ленты скручиваются в ровницу или пряжу. Пряжа, полученная с прядильной машины на катушках или в мотках, перематывается на катушки большего размера, после чего поступает на тростильные машины, на которых осуществляется процесс получения пряжи, пока без скручивания волокон. Строшенная пряжа на бобинах крестовой мотки поступает на крутильные машины, где и скручивается в льняную нитку.

Льняные, пеньковые, шелковые и капроновые канаты (веревки) разделяются на крученые и плетеные. Плетеные изделия, которые иногда называются фалами, представляют собой либо одну оплетку без сердцевинных нитей, либо имеют внутри оплетки ряд параллельно расположенных ниток, образующих сердцевину фала.

Изготовление крученых веревок (канатов) аналогично изготовлению проволочных канатов, с той лишь разницей, что проволоку заменяют пряжки, скрученные из ниток.

Лучшей аэростатной крученой льняной веревкой является двенад-

цатипрядная веревка. Конструкция этой веревки состоит из четырех основных прядей, причем каждая прядь состоит из трех прядок. Каждая прядка скручена из отдельных льняных ниток, число которых меняется в зависимости от диаметра веревки. Такая конструкция обеспечивает изготовление весьма гибкой веревки, хорошо сопротивляющейся износу и удобной для заплетки коушей и сращивания. Конструкция крученой веревки показана на рис. 56.

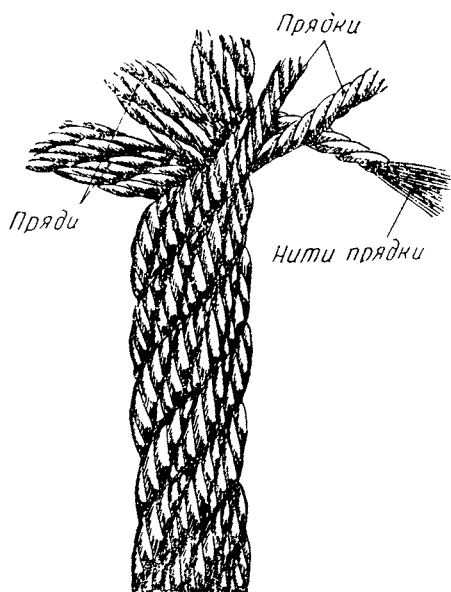


Рис. 56. Крученая веревка.

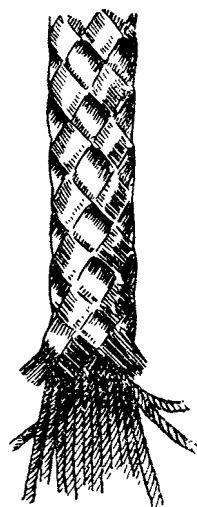


Рис. 57. Конструкция фала.

Если прядки в прядях скручены в левую сторону, то сами пряди скручиваются в канате в обратную правую сторону. В этом случае мы имеем конструкцию крестовой свивки, как и в тросах.

Оплетка фалов (плетеных веревок) состоит из четного числа (не меньше четырех) переплетающихся между собой прядей, состоящих из параллельно расположенных нитей. Основным положительным качеством плетеных веревок (без сердечника) является их мягкость, гибкость и отсутствие раскручивания. К недостаткам плетеных веревок без сердечника надо отнести плохое восприятие ими динамических нагрузок. Конструкция фала показана на рис. 57. Изготовление крученых веревок производится на веревкоvwющих машинах. Наибольшее распространение имеют комбинированные веревкоvwющие машины, на которых могут быть одновременно изготовлены пряди из нитей, а из прядей — веревки. Указанные машины бывают горизонтального и вертикального типов. Комбинированные машины применяются для изготовления трех- и четырех-прядных веревок простого плетения. Максимальный диаметр веревок, изготавливаемых на горизонтальных машинах (наиболее распространенных), составляет 25 мм. Комбинированные машины занимают небольшую площадь и веревки, изготавливаемые на этих машинах, отличаются хорошим качеством.

Изготовление плетеных веревок производится на специальных машинах, называемых плетельными. Наибольшее применение имеют бы-

строплетельные машины карусельного типа. Для этих машин полуфабрикатом являются пряжи, состоящие из параллельных нитей, намотанные на шпули. Предварительная намотка нитей производится на специальных машинах.

Для оснащения аэростатов применяются преимущественно крученые веревки, для парашютов применяются преимущественно фалы. Материалом для аэростатных веревок служит почти исключительно лен; исходными материалами для парашютных строп служат шелковые, хлопчатобумажные и капроновые нити.

Отдельные участки веревочных изделий соединяются друг с другом узлами. В практике эксплуатации аэростатов основными узлами являются прямой, сеточный и гусиная лапка; остальные типы узлов применяются для соединения вспомогательных участков, где приходится менее считаться с прочностью и весом узловых соединений. На рис. 58, 59 и 60 приводятся схемы основных узловых соединений, применяемых в аэростатной практике.



Рис. 58. Узел „гусиная лапка“.

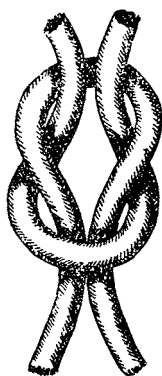


Рис. 59. Прямой узел.

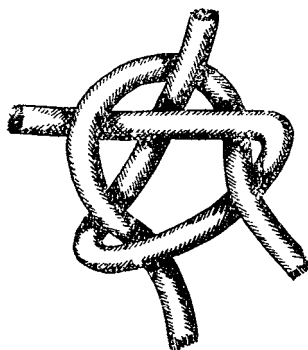


Рис. 60. Сеточный узел.

В узловых соединениях всегда имеет место потеря прочности, поэтому выбор типа узла имеет важное значение.

Аэростатные веревки перед изготовлением строп такелажа подвергаются декатировке. Процесс декатировки состоит в вымачивании веревок в воде в течение 2-х часов и вытягивании их под постоянным грузом в течение 12-ти часов. Постоянный груз обычно составляет $\frac{1}{10}$ от разрывного усилия веревок. В течение 12-ти часов веревки высыхают, оставаясь все время под постоянным натяжением. Из декатированных веревок изготовляют такелаж для аэростатов согласно техническим условиям. Декатировка производится не на канатных заводах, изготовляющих веревки, а в цехах заводов, где производится сборка оболочек аэростатов. Применение недекатированной веревки для оснащения оболочек аэростатов недопустимо, так как в процессе декатировки веревка обжимается и становится более однородной.

Для парашютных строп декатировка не является обязательной. Для капроновых строп парашютов декатировка не нужна. Что же касается шелковых и хлопчатобумажных строп, то следует считать целесообраз-

ным проводить декатировку этих строп по специально разработанному режиму.

Готовые крученые и плетеные веревки проходят обычные лабораторные испытания с целью определения следующих физико-механических характеристик:

- 1) конструкция изделия;
- 2) разрывное усилие в кг;
- 3) относительное удлинение при разрыве в %;
- 3) вес одного погонного метра в г;
- 5) диаметр веревочного изделия.

Разрывное усилие и относительное удлинение определяются на обычных разрывных машинах, диаметр определяется путем измерения

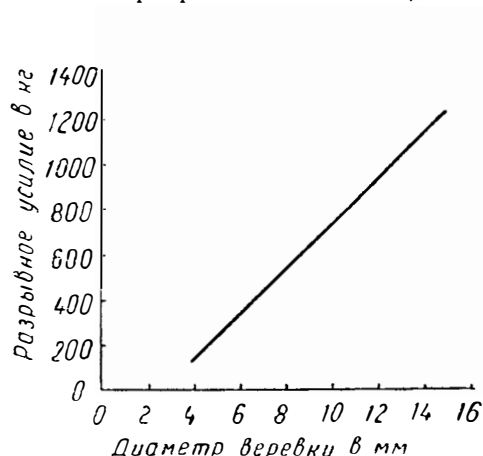


Рис. 61.

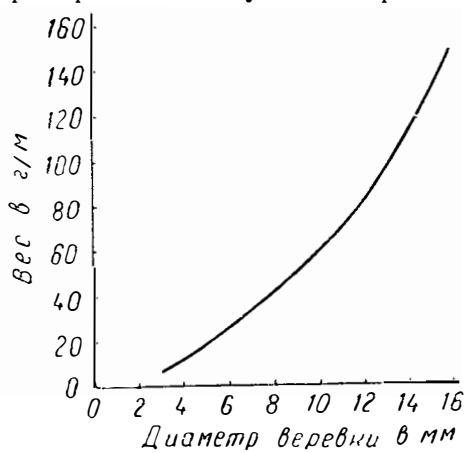


Рис. 62.

окружности веревочного изделия и вычислением диаметра, т. е., если измеренная окружность равна l , то диаметр d определяется:

$$d = \frac{l}{\pi}.$$

На рис. 61 приведена примерная зависимость разрывного усилия льняной крученой четырехрядной веревки от изменения диаметра, а на рис. 62 — зависимость веса одного погонного метра веревки от величины диаметра.

12. Изготовление резиновых амортизаторов

Резиновые амортизаторы применяются для изготовления амортизационной системы, предназначенной для компенсации объема аэростатов.

Различают три основных типа резиновых амортизаторов: оплетенные, нарезные и формовые. Первые два типа имеют весьма широкое распространение в связи с простотой изготовления; формовые амортизаторы применяются сравнительно редко, так как их производство требует наличия специальных форм для изготовления. Оплетенные амортизаторы состоят из группы резиновых нитей, расположенных параллельно друг к другу. Резиновые нити растягиваются постоянным грузом и оплетаются в растянутом состоянии хлопчатобумажными нитями с очень пологим углом расположения нитей к оси амортизатора. Наружная оплетка амортизатора изготавливается на обычных плетельных машинах.

Пологий угол оплетки имеет определенную цель, а именно: при большом растяжении резиновых нитей, порядка 300% и более, весьма важно, чтобы оплетка не вступала в работу; в противном случае растягивающее усилие, действующее на амортизатор, будет передаваться на оплетку и разрушать ее.

Резиновые нити оплетенных амортизаторов изготавливаются из тонкой листовой резины. Каждая резиновая нить имеет поперечное сечение, равное 1 мм². Общее поперечное сечение резиновых нитей оплетенного амортизатора может быть легко определено путем подсчета числа нитей в амортизаторе.

Нарезные амортизаторы изготавливаются из листовой резины определенной толщины. Нарезной амортизатор представляет собой резиновый параллелепипед с прямоугольным поперечным сечением. По величине своего поперечного сечения нарезные амортизаторы обычно равновелики поперечному сечению оплетенных амортизаторов, но в отличие от последних они обладают существенным недостатком, выражающимся в том, что незначительный порез нарезного амортизатора легко приводит к его разрушению даже при незначительном растягивающем усилии.

Формовые амортизаторы могут быть изготовлены любого вида. Для их изготовления необходимы специальные формы, что несколько осложняет процесс изготовления этих амортизаторов.

На рис. 63 приведены схемы оплетенного и формового круглого амортизатора и вид ошпаговки при монтаже амортизаторов на оболочке. Соединение амортизаторов в петлю имеет весьма существенное значение при эксплуатации. При ошпаговании необходимо, чтобы концы амортизаторов были растянуты так, чтобы относительное их удлинение было больше максимального, предусмотренного в проекте амортизационной (стягивающей) системы. Если это правило не соблюдено, то при растяжении амортизатора, вследствие резкого уменьшения поперечного сечения, ветви амортизатора выскользнут из ошпаговки.

На рис. 64 показан внешний вид нарезного и формовых амортизаторов. Нарезной амортизатор монтируется на оболочку так, как это

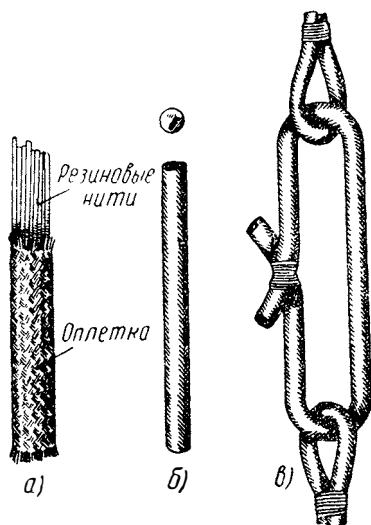


Рис. 63. Резиновые амортизаторы:

а — оплетенный амортизатор,
б — круглый формовой амортизатор,
в — ошпаговка ветвей амортизатора.

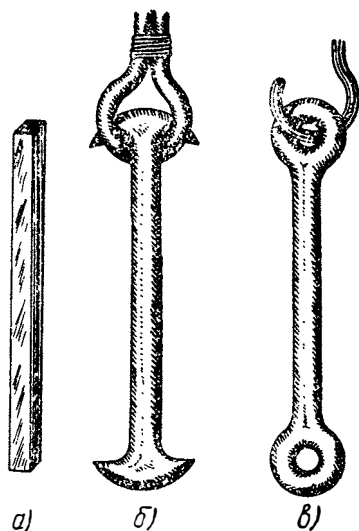


Рис. 64. Резиновые амортизаторы:

а — нарезной амортизатор, б — формовой амортизатор для монтажа в петлю, в — формовой амортизатор для монтажа на крючки.

показано на рис. 63. Формовые амортизаторы, в зависимости от выбранной конструкции поясов стягивающей (амортизационной) системы, могут оканчиваться головками, которые вкладываются в петли поясов, или же иметь на концах круглые или овальные отверстия для надевания на крючки поясов амортизационной системы оболочки.

Применение формовых амортизаторов облегчает смену амортизаторов при эксплуатации аэростатов. Формовые амортизаторы перед постановкой на оболочку должны быть занумерованы и установлены в те места, где номер петли амортизационного пояса совпадает с номером амортизатора. Последнее обстоятельство усложняет и, тем самым, ограничивает применение этих амортизаторов в эксплуатации аэростатов. Некоторые характеристики применяемых амортизаторов указаны в приложении 3.

Глава III

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИКЛАДНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ К АЭРОСТАТНЫМ МАТЕРИАЛАМ

13. Растяжение тканей и баллонных материй

а) Изготовление образцов

В оболочках аэростатов и в куполах парашютов ткани несут силовую нагрузку и под влиянием усилий подвергаются деформациям. При конструировании, для выбора того или иного типа ткани или баллонной материи, необходимо иметь данные по физико-механическим свойствам этих материалов, которые могут быть получены в результате испытаний.

Простейшим является испытание на растяжение образцов ткани или баллонной материи, которое производится на разрывных машинах обычного рычажного типа. Внешний вид такой машины показан на рис. 65.

Разрывные машины для тканей и баллонных материй обычно изготовляются с максимальным разрывным усилием в 50, 100, 200 кг; иногда применяются машины с максимальным разрывным усилием в 300, 900 и 1500 кг. Переход на ту или иную шкалу усилий производится сменой грузов на рычаге машины. Разрывные машины одновременно с определением нагрузки на образец позволяют получать величины деформаций в процессе растяжения. Для этой цели разрывные машины снабжены диаграммным прибором, позволяющим записывать ход деформаций образца при возрастании нагрузки от начальной до разрушающей.

Изготовление образцов тканей и баллонных материй для испытания не представляет затруднений, но требует соблюдения определенных правил, без чего испытания могут иметь значительные погрешности.

Образец для испытания ткани или баллонной материи на растяжение представляет собой полосу шириной в 50 и длиной в 400—450 мм. Ширина образца должна быть такова, чтобы иметь возможность на машине данной конструкции произвести испытание на прочность и удлинение с учетом правильного закрепления образца в зажимах машины, отсутствия перекосов образца и соответствия зависимости усилий от деформаций. Общая длина образца L зависит от выбранной расчетной длины l (расстояния между зажимами), высоты зажимов k и длины части образца m , выпускаемой из нижнего зажима для подвешивания к образцу постоянного груза (100—500 г) для растяжения образца перед началом испытания.

На рис. 66 показана схема закрепления образца в зажимах. По этой схеме длина образца L определяется:

$$L = l + 2k + m + 5 \text{ мм.}$$

Обычно расчетная длина l принимается равной 200 мм, высота двух зажимов составляет в сумме 120—160 мм, часть образца, выпускаемая из нижнего зажима, равна 120—150 мм.

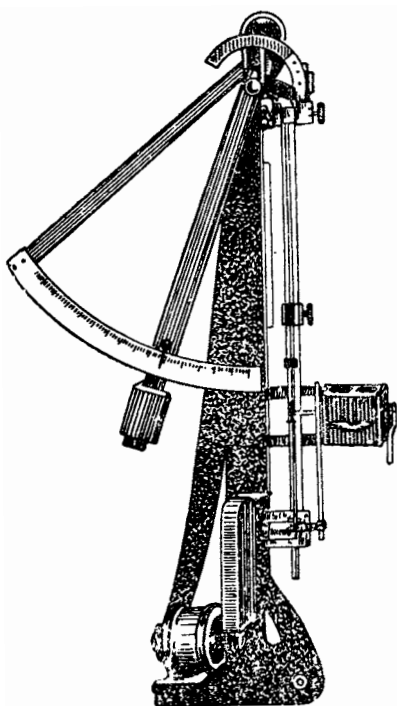


Рис. 65. Разрывная машина.

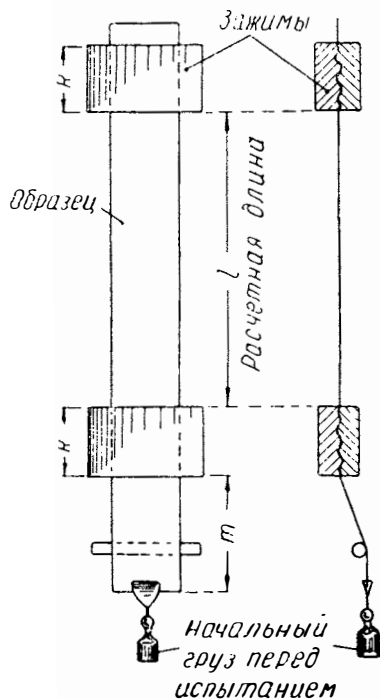


Рис. 66. Схема крепления образца.

Изготовление образцов тканей или однослойных баллонных материй для испытания на растяжение производится следующим образом. На куске ткани или однослойной баллонной материи вдоль основы или утка делаются ножницами два надреза на расстоянии, несколько превышающем заданную ширину образца. Далее, по надрезам рукой продергивают нити ткани на длину образца, в результате чего получается полоска ткани или баллонной материи, необходимая для испытания. Ширина полученной таким образом полоски не всегда соответствует расчетной ширине образца. Для доведения ширины полоски до расчетной с ее краев выдергивают продольные одиночные нити до тех пор, пока ширина полоски не достигнет заданной величины. При этом размеры бахромы вдоль полоски, образующейся в результате выдергивания отдельных нитей, в расчет не принимаются.

На рис. 67 приведен внешний вид заготавливаемого образца ткани или однослойной баллонной материи.

Изготовление образцов двухслойных баллонных материй (диагонально-дублированных) производится несколько иначе. Образцы для испытаний могут быть изготовлены по основе или утку как параллельного (обращенного в оболочке к водороду) слоя, так и диагонального (алю-

минированного) слоя ткани. Большой частью изготовление образцов по основе или утку производится по направлениям соответствующих нитей параллельного слоя. Для изготовления образцов из диагонально-дублированной баллонной материи на куске материи делают ножницами два надреза на расстоянии 6—10 мм друг от друга. Кусок материи поворачивают внутренней (параллельный слой) стороной наружу и продергивают рукой образовавшийся от надреза язычок. На рис. 68 показан момент отделения язычка.

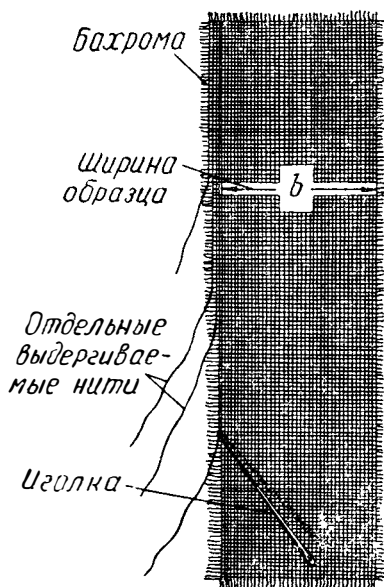


Рис. 67. Изготовление полоски ткани.

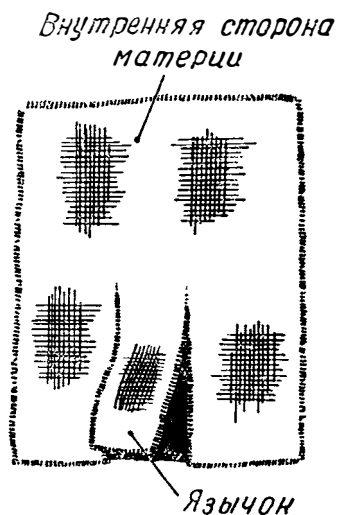


Рис. 68.

При продергивании язычка параллельный слой ткани отделяется от диагонального.

На рис. 69 показана схема изготовления образца из диагонально-дублированной баллонной материи. При продергивании, язычок параллельного слоя ткани обнажает газодержащий слой, расположенный между параллельным и диагональным слоями ткани. Ширина образца контролируется только по параллельному слою ткани, причем точный размер ширины образца устанавливается так же, как это было указано в случае заготовки образцов ткани, т. е. в параллельном слое выдергиваются отдельные нити, а размеры бахромы с боковых сторон образца во внимание не принимаются. По получении заданной ширины образца ножницами обрезают образец по черным полоскам обнаженного газодержащего слоя, не заботясь о параллельности продольного надреза краям образца. Следует иметь в виду, что при испытании образца на разрывной машине боковые участки газодержащего слоя резины и диагонального слоя ткани, расположенные под углом в 45° к параллельному слою ткани, не оказывают влияния на величину разрушающего усилия образца.

Изготовление образцов для испытания параллельно-дублированных и трехслойных баллонных материй лучше производить путем тщательного расчерчивания на внутренней стороне материи геометрических размеров образца. Это требование объясняется тем, что как бы тщательно

не производилась дублировка тканей параллельно друг другу, очень трудно в практике производства достигнуть полной параллельности нитей основы одного слоя ткани нитям основы другого слоя ткани и еще труднее соблюсти эту параллельность для нитей утка. Поэтому принцип изготовления образцов, рекомендованный для однослойных или двухслойных диагонально-дублированных баллонных материй, в данном случае, мало пригоден.

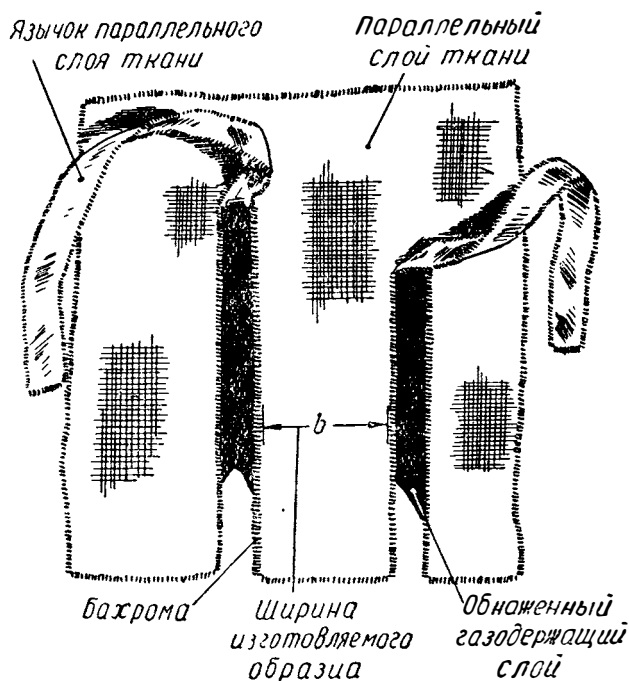


Рис. 69. Схема изготовления образца из диагонально-дублированной материи.

Изготовление образца по заранее вычерченным размерам имеет тот недостаток, что в этом случае легко перерезать продольные нити одного из слоев ткани, которые должны участвовать в сопротивлении материи растяжению. Этот недостаток обычно компенсируется увеличением количества образцов, изготавливаемых для испытаний.

б) Испытание образцов

Заготовленные полоски ткани или баллонной материи закрепляются в зажимах разрывной машины и путем постепенного увеличения нагрузки доводятся до разрыва. Испытание считается удовлетворительным, если разрыв полоски произошел не ближе 15—20 мм от зажимов; в противном случае испытание необходимо повторить. Число испытываемых образцов для одного вида ткани устанавливается согласно соответствующим техническим условиям и обычно ограничивается тремя-пятью образцами по основе и утку; число испытаний для опытных видов тканей обычно исчисляется десятками. Полоски тканей и однослойных баллонных материй разрываются сразу по всей ширине образца. На рис. 70 показан подобный характер разрушения ткани или однослойной баллонной материи. Одновременный разрыв всех продольных нитей образца свидетельствует о правильном креплении образца в зажимах.

Характер разрыва образцов двухслойной диагонально-дублированной баллонной материи отличается от характера разрыва образцов тканей или однослойных баллонных материй. Если смотреть на образец дублированной материи со стороны параллельного слоя, то в момент начала разрушения становится заметным появление отдельных разрывов продольных нитей образца, число которых увеличивается при дальнейшем растяжении. Полностью образец материи не разрывается благодаря наличию диагонального слоя ткани, имеющего большое удлинение. После разрушения параллельного слоя ткани дальнейшее растяжение образца продолжается, но рычаг разрывной машины останавливается и усилие, действующее на образец, не увеличивается. Разрушающим усилием в данном случае будет считаться максимальное усилие, отмеченное рычагом разрывной машины.

На рис. 71 показан характер разрушения образца из двухслойной диагонально-дублированной баллонной материи.

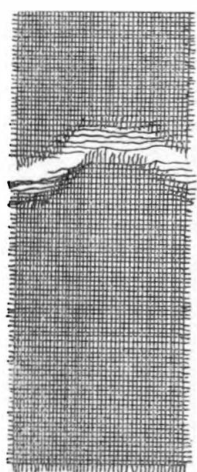


Рис. 70. Характер разрушения ткани или однослойной баллонной материи.

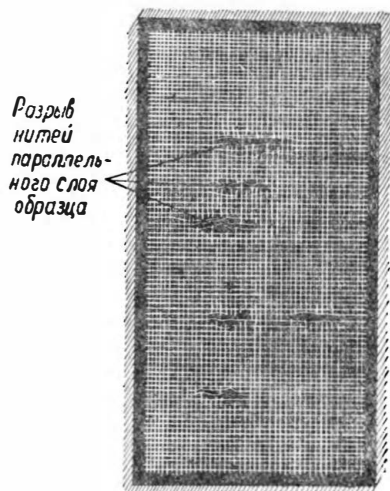


Рис. 71. Характер разрушения образца из двухслойной диагонально-дублированной баллонной материи.

В практике испытаний воздухоплавательных материалов принято разрушающее усилие относить к ширине в 1 м и рассматривать его как предел прочности ткани или баллонной материи.

Получаемая при растяжении тканей или баллонных материй зависимость между нагрузкой и деформацией имеет криволинейный характер. На рис. 72 приведен пример диаграммы растяжения одного из видов двухслойной баллонной материи. По оси абсцисс отложены относительные удлинения, часто выражаемые в процентах, а по оси ординат — напряжения в кг/м .

Кривые растяжения баллонной материи, приведенные на рис. 72, свидетельствуют о наличии большой разбежки в удлинениях по основе и утку в материи, что является ее недостатком. Предел прочности по основе и утку в данном случае почти одинаков по своей величине, что отвечает одному из основных требований, предъявляемых к техническим тканям и баллонным материям. Ткань или баллонная материя при растяжении не подчиняется закону Гука, но между величиной напряжения

и деформацией для данного вида ткани или баллонной материи может быть установлена зависимость в аналитическом виде.

Например, для баллонной материи, кривые растяжения которой приведены на рис. 72, связь между напряжением и деформацией может быть выражена уравнениями вида:

для основы

$$\sigma = 3,8 \cdot 10^5 \epsilon^2,$$

для утка

$$\sigma = 4 \cdot 10^4 \cdot \epsilon^2,$$

где σ — напряжение в баллонной материи в кг/м;

ϵ — относительное удлинение.

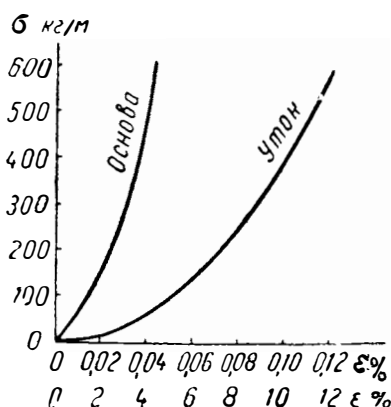


Рис. 72.

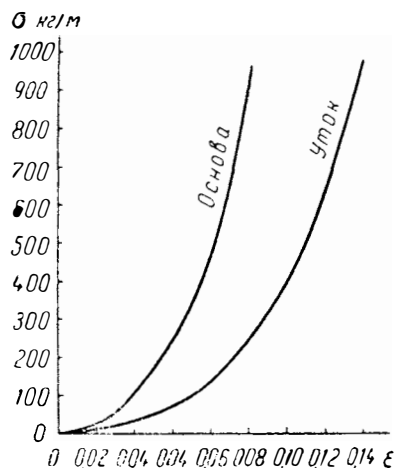


Рис. 73.

Коэффициент при ϵ имеет ту же размерность, что и σ .

На рис. 73 приведен пример диаграммы растяжения баллонной материи, имеющей небольшую разбежку в удлинениях между основой и утком.

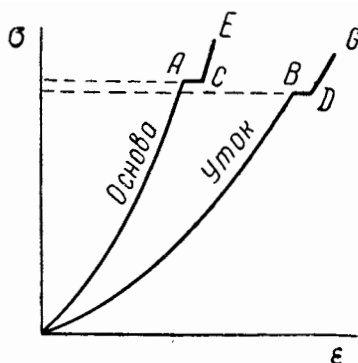


Рис. 74.

Диаграмма растяжения образцов диагонально-дублированной баллонной материи (рис. 74) несколько отличается по форме от диаграмм растяжения образцов однослойных или параллельно-дублированных материй. Разница в диаграммах обусловлена наличием диагонального слоя, который после разрушения параллельного слоя материи способен воспринимать дополнительно некоторую часть общего, необходимого для разрыва образца, усилия.

Начало разрушения нитей параллельного слоя ткани при испытании образцов соответствует точкам A и B на диаграммах растяжения (рис. 74). Дальнейшее разрушение параллельного слоя происходит без увеличения нагрузки на образец, что отображается участками AC и BD.

Очень часто диагональный слой после разрушения параллельного слоя ткани в диагонально-дублированных материях воспринимает на себя растягивающие усилия, что показано на диаграмме растяжения ветвями CE и DG . Это кажущееся увеличение предела прочности баллонных материй не принимается во внимание и фактически пределами прочности считаются величины усилий, соответствующие точкам A и B диаграммы.

Приведенные диаграммы растяжения характерны для баллонных материй, изготовленных из хлопчатобумажных тканей. Диаграммы рас-

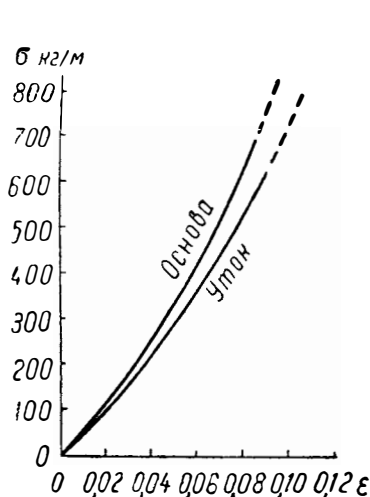


Рис. 75. Диаграмма растяжения хлопчатобумажной ткани.

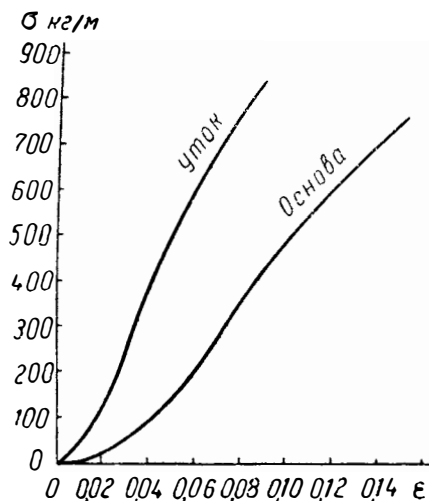


Рис. 76. Диаграмма растяжения шелковой ткани.

тяжения самих хлопчатобумажных тканей имеют примерно аналогичный характер. Лучшие хлопчатобумажные ткани, предназначенные для изготовления куполов парашютов или баллонных материй, должны иметь при относительно малом весе высокую прочность и одинаковые удлинения по основе и утку. При существующем развитии нашего народного хозяйства и применении мощной советской техники получение таких тканей не является неразрешимой проблемой.

На рис. 75 приведена диаграмма растяжения хлопчатобумажной ткани, отличающейся высокими механическими качествами.

Кроме хлопчатобумажных тканей для изготовления куполов парашютов и баллонных материй применяются также шелковые и капроновые ткани. По характеру растяжения эти ткани несколько отличаются от хлопчатобумажных тканей. На рис. 76 и 77 приведены диаграммы растяжения шелковой и капроновой тканей.

Для шелковой ткани кривая растяжения вначале обращена выпуклостью вниз, как и в случае растяжения хлопчатобумажных тканей; далее наблюдается перегиб кривой с обращением выпуклости вверх. В большинстве случаев шелковые ткани характеризуются меньшим относительным удлинением утка по сравнению с относительным удлинением основы и сравнительно небольшой разбежкой в удлинениях между основой и утком.

Капроновые ткани отличаются большой прочностью и значительным относительным удлинением. При проектировании оболочек аэростатов

из баллонных материй, изготовленных на основе капроновых тканей, следует принимать во внимание возможность значительной деформации оболочки.

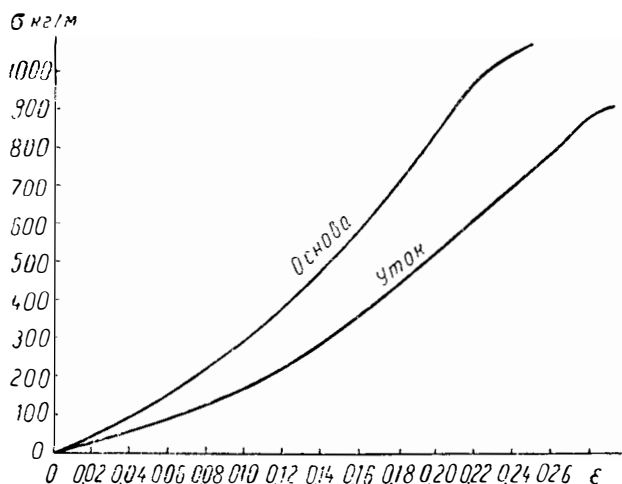


Рис. 77. Диаграмма растяжения капроновой ткани.

в) Поперечное сжатие при растяжении

При испытании полосок тканей или баллонных материй на растяжение под влиянием нагрузки наблюдается значительное сокращение ширины полосы.

Введем следующие обозначения:

- $\epsilon_{удл}^{осн}$ — относительное удлинение по основе;
- $\epsilon_{удл}^{уток}$ — относительное удлинение по утку;
- $\epsilon_{сж}^{осн}$ — относительное укорочение по основе;
- $\epsilon_{сж}^{уток}$ — относительное укорочение по утку;
- F — первоначальная поверхность образца;
- F' — поверхность деформированного образца.

Очевидно, будем иметь (пренебрегая величиной произведения удлинений):

$$\frac{F' - F}{F} = \frac{\Delta F}{F} \approx \epsilon_{удл}^{осн} - \epsilon_{сж}^{уток}$$

или

$$\frac{\Delta F}{F} \approx \epsilon_{удл}^{уток} - \epsilon_{сж}^{осн}.$$

Обозначая

$$\frac{\epsilon_{сж}^{уток}}{\epsilon_{удл}^{осн}} = \mu_{уток}$$

и

$$\frac{\epsilon_{сж}^{осн}}{\epsilon_{удл}^{уток}} = \mu_{осн},$$

получим

$$\frac{\Delta F}{F} = \varepsilon_{удл}^{осн} (1 - \mu_{уток}) \quad \text{или} \quad \frac{\Delta F}{F} = \varepsilon_{удл}^{уток} (1 - \mu_{осн})$$

в зависимости от растяжения полоски по основе или утку.

Величина μ называется коэффициентом поперечного сжатия (основы или утка).

Для новых баллонных материй значения μ приблизительно равны:

$$\mu_{осн} \approx 0,7; \quad \mu_{уток} \approx 1.$$

Величина коэффициента поперечного сжатия μ зависит от разбежки удлинений по основе и утку; чем меньше эта разбежка, тем ближе друг к другу значения $\mu_{осн}$ и $\mu_{уток}$.

г) Нормальная характеристика баллонных материй

Вышеприведенные методы испытаний тканей и баллонных материй и получаемые с помощью этих методов результаты имеют определенное значение для технической приемки материалов и предварительного выбора того или иного типа тканей или баллонных материй.

Данные по механическим свойствам, весу 1 м², газопроницаемости или воздухопроницаемости представляют те необходимые элементарные сведения, пользуясь которыми конструктор может обосновать предварительный выбор ткани или баллонной материи для проектируемого им объекта. Но указанные данные совершенно недостаточны для разработки проектов и полного расчета оболочек аэростатов и куполов парашютов.

В оболочках аэростатов напряжения никогда не возникают только в одном направлении. Величина напряжений в оболочках рассчитывается на основе общепринятых формул для расчета тонкостенных сосудов, находящихся под внутренним давлением газа или жидкости.

Исходная формула для расчета имеет вид:

$$\frac{\sigma_1}{\rho_1} + \frac{\sigma_2}{\rho_2} = \frac{\Delta p}{h},$$

где σ_1 — напряжение в меридиональном сечении сосуда;

σ_2 — напряжение в экваториальном сечении сосуда;

ρ_1 — радиус кривизны меридионального сечения;

ρ_2 — радиус кривизны экваториального сечения;

Δp — внутреннее давление на единицу поверхности;

h — толщина стенки сосуда.

Для аэростатов толщина оболочки обычно принимается за единицу и расчетная формула принимает следующий вид:

$$\frac{\sigma_1}{\rho_1} + \frac{\sigma_2}{\rho_2} = \Delta p,$$

Δp соответствует сверхдавлению газа в оболочке аэростата и обычно выражается в кг/м², что по величине соответствует числу миллиметров водяного столба, в которых измеряется сверхдавление газа в оболочке.

При простейших геометрических формах сосудов, например шаровой или цилиндрической, расчетные формулы для вычисления напряжений значительно упрощаются.

Например для шара будем иметь:

$$\sigma_1 = \sigma_2; \quad \rho_1 = \rho_2 = r,$$

тогда

$$2 \frac{\sigma}{r} = \Delta p \quad \text{и} \quad \sigma = \frac{\Delta p \cdot r}{2}.$$

Для цилиндра в направлении, перпендикулярном оси,

$$\rho_1 = \infty; \quad \rho_2 = r,$$

тогда

$$\frac{\sigma_2}{r} = \Delta p \quad \text{и} \quad \sigma_2 = \Delta p \cdot r;$$

в направлении, параллельном оси цилиндра, напряжения будут аналогичны напряжениям в шаре с радиусом r .

Если в предыдущих формулах заменить $r = \frac{D}{2}$, то получим:

для шара

$$\sigma = \frac{\Delta p \cdot D}{4},$$

для цилиндра

$$\sigma = \frac{\Delta p \cdot D}{2}.$$

При использовании данных формул для расчетов следует учитывать, что напряжение σ выражено в кг/м , Δp — в кг/м^2 , а D — в метрах.

Рассчитывая оболочку, как сосуд определенной геометрической формы, конструктор с достаточной степенью точности может определить напряжения, которые могут возникнуть в оболочке при заданных условиях. Если расчет напряжений, возникающих в оболочках, не представляет затруднений, то определение деформаций матерчатых оболочек представляет значительные трудности. В этом случае нельзя пользоваться диаграммами растяжения для одноосных образцов (полосок), так как баллонная материя в оболочке подвергается растяжению одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Напряжения в материалах, подчиняющихся закону Гука, в зависимости от растяжения в двух взаимно перпендикулярных направлениях, могут быть выражены с помощью известных из теории упругости формул:

$$\sigma_x = \frac{(\epsilon_x + \mu \epsilon_y) E}{1 - \mu^2}$$

и

$$\sigma_y = \frac{(\epsilon_y + \mu \epsilon_x) E}{1 - \mu^2},$$

где σ_x и σ_y — напряжения, возникающие в двух взаимно перпендикулярных направлениях материала;

ϵ_x и ϵ_y — соответствующие относительные удлинения по двум взаимно перпендикулярным направлениям;

μ — коэффициент поперечного сжатия;

E — модуль упругости материала.

В случае деформации тканей и баллонных материй значения модуля упругости E и коэффициента поперечного сжатия μ являются переменными, поэтому вышеприведенные формулы теории упругости для определения деформации аэростатных и парашютных материалов не могут быть применены.

Оболочка, изготовленная из баллонной материи, под влиянием сверхдавления газа и местных нагрузок деформируется по определенным закономерностям, которые необходимо знать и учитывать конструктору при проектировании оболочки.

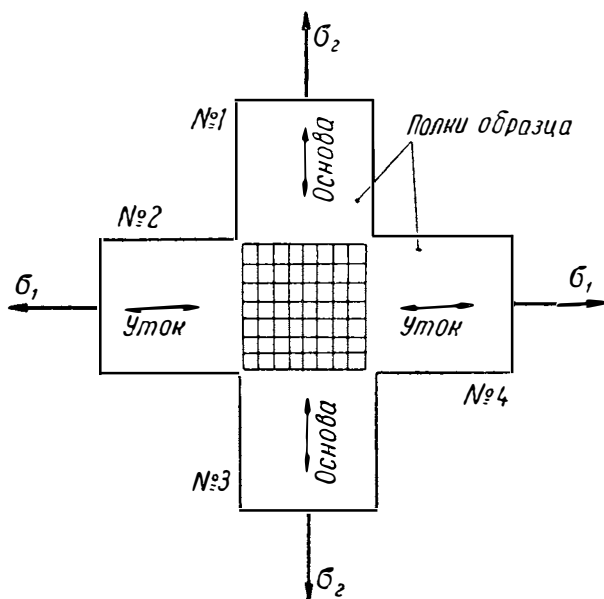


Рис. 78. Образец простого креста.

С целью выявления вида этих закономерностей каждый тип баллонной материи или ткани подвергается специальным испытаниям, которые заключаются в исследовании деформаций материи или ткани при нагружении в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Применяя различные сочетания усилий, действующих на ткань или баллонную материю в двух взаимно перпендикулярных направлениях, можно получить кривые деформации материи, которые могут быть использованы в качестве основного материала для расчетов деформации оболочек.

Для изучения деформаций, возникающих в тканях или баллонных материях при нагружении в двух взаимно перпендикулярных направлениях, обычно применяют крестообразный образец, схематическое изображение которого приведено на рис. 78. На центральной части образца вычерчивается сетка. Деформации материи, вызываемые усилиями, прилагаемыми к концам креста (полкам), определяются путем измерения отдельных линий сетки. Удлинения или укорочения по основе и утку материи находят как средние величины из замеров линий одного направления. При упрощенных испытаниях измеряются только осевые линии сетки. Полки №№ 1, 2 образца обычно укрепляются неподвижно на опорах станка, а полки №№ 3, 4 нагружаются в том порядке, который предусмотрен расчетом. Иногда для снятия нормальной характеристики применяют сложный крестообразный образец (рис. 79). В горизонтальном

направлении для всех крестов нагрузка имеет постоянное значение; в вертикальном направлении каждый крест растягивается под действием отдельной, заданной для данного креста нагрузки.

Основная трудность испытания крестообразных образцов заключается в необходимости одновременного нагружения полок и осуществления постепенного возрастания нагрузок на полки.

Известно несколько методов исследования деформаций тканей и баллонных материй с применением крестообразных образцов. Согласно первому, широко распространенному ранее методу, изучение деформаций материи во взаимно перпендикулярных направлениях производилось с помощью двух крестообразных образцов. Испытания по данному методу с учетом времени отдыха материи требовали для своего проведения около полутора месяцев. Обработка результатов испытаний в этом случае представляет значительные трудности и требует от экспериментатора индивидуальных навыков. По второму извест-

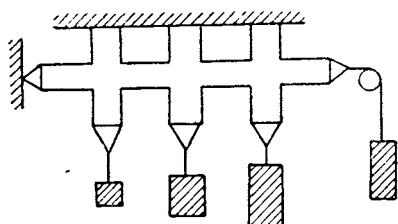


Рис. 79. Образец сложного креста.

ному методу из материи изготавливается одновременно до пятнадцати крестообразных образцов, причем каждый образец испытывается только при определенном числе переменных нагрузок. Третий метод испытаний заключается в том, что для каждой комбинации нагрузок в двух взаимно перпендикулярных направлениях изготавливается отдельный крестообразный образец и результаты испытаний всех образцов суммируются в общую диаграмму. Этот последний метод достаточно точен, но требует большого количества материала для проведения испытания.

Центральная часть крестообразного образца в зависимости от конструкции установки может иметь различные размеры. Применяются крестообразные образцы со сторонами квадрата центральной части в 250, 100 и 50 мм. Усилия, действующие на полки, пересчитываются на напряжения в ткани или баллонной материи. Величины растягивающих усилий в крестообразном образце доводятся до значений в $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ от предела прочности материи, причем характер комбинаций нагружения зависит от величины нагрузок, действующих на материю в условиях эксплуатации оболочек. По результатам испытаний строятся диаграммы относительных удлинений и укорочений основы и утка при различной комбинации загрузки материи.

Эти диаграммы носят название *нормальной характеристики* материи или ткани.

Нормальная характеристика представляет собой семейство кривых, вид которых представлен на фиг. 80 и 81.

Нормальная характеристика баллонной материи или ткани позволяет установить зависимости напряжений по основе или утку от относительных удлинений или укорочений при условии воздействия усилий в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Пользуясь нормальной характеристикой, по известным величинам напряжений можно определить величины деформации материи в оболочке в направлении основы или утка.

При раскрое оболочек основа баллонной материи может быть расположена или перпендикулярно оси аэростата или вдоль оси; соответственно уток материи располагается или вдоль оси аэростата, или перпендикулярно к этой оси.

Допустим, что при раскрое оболочки основа материи расположена перпендикулярно к оси аэростата. Пусть расчетом определено, что напряжение по основе составляет 400 кг/м , а одновременно действующее напряжение по утку составляет 200 кг/м . Оболочка изготовлена из материи, нормальная характеристика которой представлена на рис. 80.

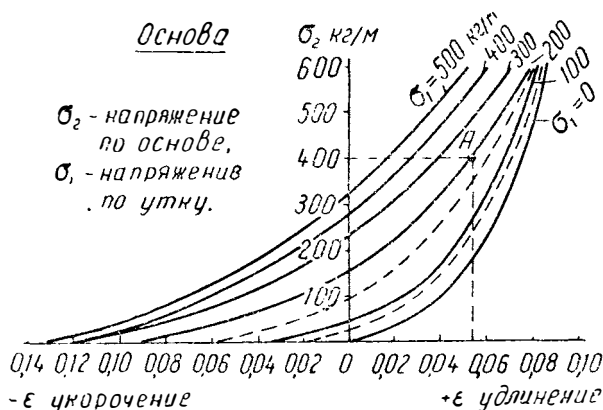


Рис. 80. Нормальная характеристика баллонной материи по основе.

Тогда при комбинации вышеприведенных расчетных напряжений относительное удлинение основы будет — 0,052 или 5,2%. Определение величины деформации на диаграмме (рис. 80) не представляет затруднений. Для этого необходимо на оси ординат найти значение

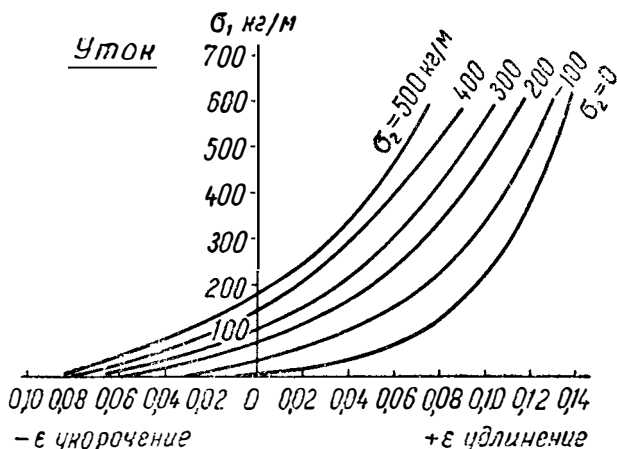


Рис. 81. Нормальная характеристика баллонной материи по утку.

напряжения, соответствующее 400 кг/м по основе, и провести линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения с кривой, соответствующей напряжению по утку в 200 кг/м . Точка А и соответствует этому пересечению. Проекция точки А на горизонтальную ось будет соответствовать значению удлинения основы при заданных комбинациях нагрузок в оболочке. Если кривая, соответствующая напряжению по утку, на диаграм-

ме отсутствует, то проводят интерполяционную кривую, соответствующую заданному напряжению. Подобные кривые показаны на рис. 80 пунктиром. С помощью нормальной характеристики, в зависимости от комбинации одновременно действующих усилий, могут быть определены не только удлинения, но и укорочения материи.

Если мысленно рассечь оболочку аэростата на отсеки, предположим шириною в 1 м, то для каждого отсека по данным нормальной характеристики легко определить увеличение диаметра отсека и сокращение этого отсека по длине, если это имеет место. В этом случае, суммируя данные деформаций по всем отсекам, можно определить деформацию всей оболочки в целом.

Например, на рис. 82 пунктиром показана новая форма оболочки после деформации материи, рассчитанная по нормальной характеристике материи. В данном случае наблюдается увеличение диаметров отсеков и общее сокращение длины оболочки.

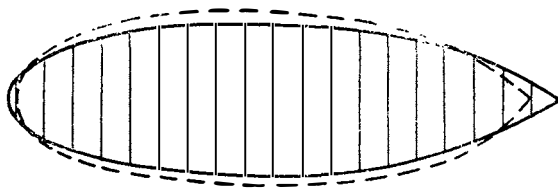


Рис. 82. Деформация оболочки.

В практике расчетов парашютов, а также и изделий из баллонных материй, часто встречается необходимость в определении деформаций тканей при одинаковых напряжениях по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Величина деформации тканей получается различной, в зависимости от того, деформируется ли новая ткань или же ткань, уже подвергавшаяся ранее растяжению. На рис. 83 приведены диаграммы растяжения различных тканей в двух взаимно перпендикулярных направлениях под одинаковыми нагрузками. Как видно из диаграмм, хлопчатобумажная ткань (перкаль) характеризуется резким различием в деформациях при первом и повторном растяжениях: для шелковых тканей это различие менее выражено, а в капроновых тканях — незначительно.

Нормальная характеристика может быть использована также и для вычисления модуля упругости баллонной материи. Модуль упругости тканей или баллонных материй является величиной переменной, которая определяется как угол наклона касательной к кривой растяжения.

На рис. 84 приведен пример нормальной характеристики материи по основе. Допустим, что напряжение σ_2 материи в направлении основы равно 200 кг/м, а одновременно действующее напряжение в направлении утка равно 100 кг/м. Данному соотношению напряжений на диаграмме (рис. 84) соответствует точка А. Проведем в точке А касательную до пересечения с осью удлинений в точке С, тогда тангенс угла α может быть рассматриваем как модуль упругости материи для точки А. Значение модуля упругости E определится из отношения:

$$E = \frac{AB}{CB} = \frac{\sigma_2}{\varepsilon} .$$

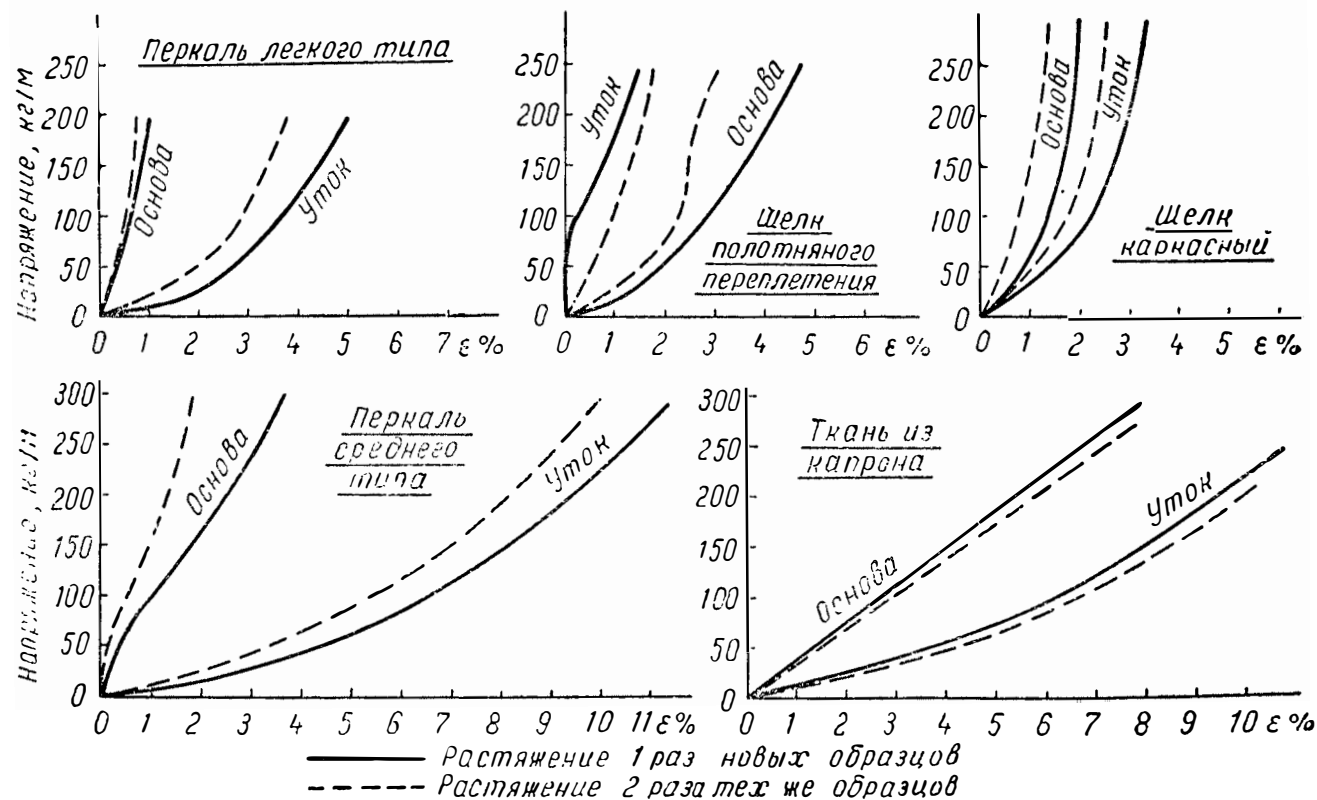


Рис. 83.

По условию примера

$$E = \frac{200 \frac{\text{кг}}{\text{м}}}{0,037} \approx 5400 \text{ кг/м}.$$

Модуль упругости баллонных материй имеет такую же размерность, как и величина напряжения σ .

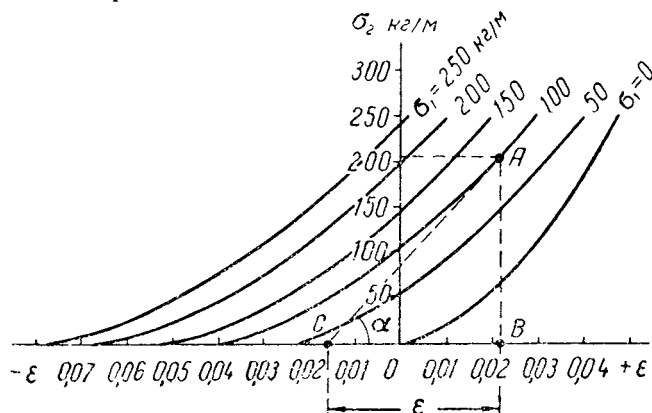


Рис. 84.

В зависимости от направления основы или утка в оболочке модуль упругости определяется соответственно по нормальным характеристикам утка или основы. При отсутствии данной кривой на диаграмме проводят пунктиром интерполяционную кривую. Проведение касательной к данной точке кривой, в особенности вблизи мест перегибов, затрудни-

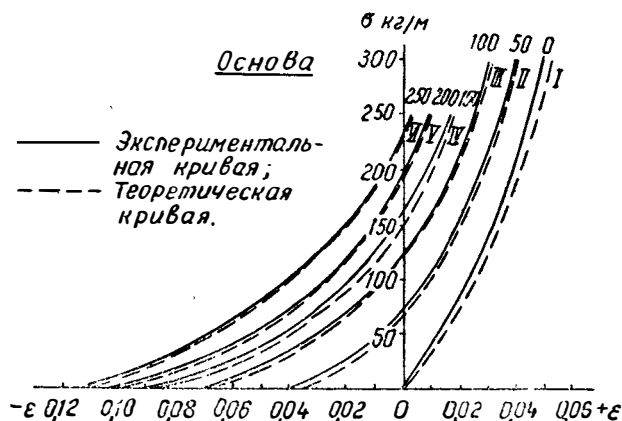


Рис. 85.

тельно и при мелком масштабе диаграммы не обеспечивает достаточной точности. В этом случае, если удастся определить аналитическое выражение кривых, построение которых указано пунктиром на рис. 85 и 86, удобнее пользоваться производными уравнений, выражающими тангенс угла касательной, т. е. искомый модуль упругости. Для практических целей полезно составить графики производных (рис. 87 и 88), по

которым легко определить значение модуля упругости. Например, в разобранном выше примере, напряжения составляли: $\sigma_2 = 200 \text{ кг/м}$ и $\sigma_1 = 100 \text{ кг/м}$. На графике рис. 87 (на основе) находим по оси абсцисс

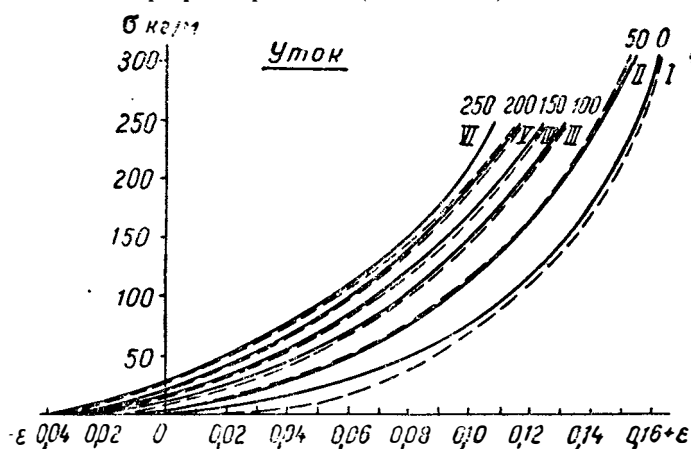


Рис. 86.

значение $\sigma_2 = 200 \text{ кг/м}$ и по вертикали ищем пересечение с кривой, соответствующей напряжению утка $\sigma_1 = 100 \text{ кг/м}$. Проекция точки пересечения на ось ординат дает значение модуля упругости при данной комбинации напряжений. Для вышеприведенного примера это значение составляет 5400 кг/м .

Знание модуля упругости необходимо также для расчета величины прогибов матерчатых конструкций. Так, для определения формы упругой

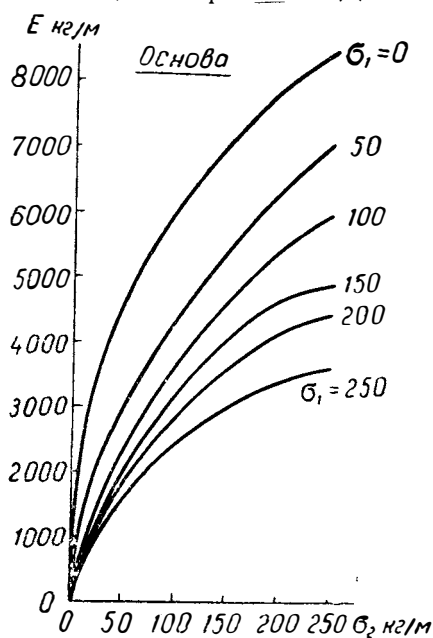


Рис. 87.

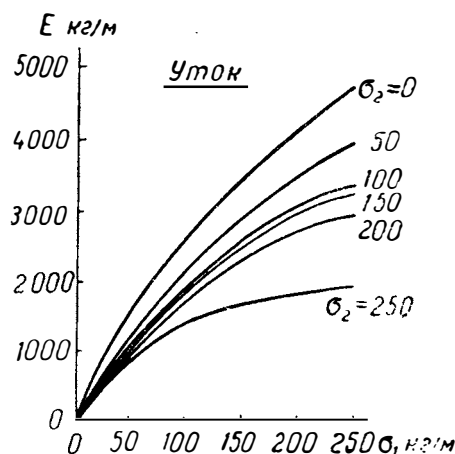


Рис. 88.

линии балки, также и для матерчатой балки, имеем обычное уравнение:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI},$$

где M — изгибающий момент;
 $I = \pi R^3$ — момент инерции окружности (оболочки);
 E — модуль упругости.

При проектировании определяются расчетным путем величины M и J , а модуль упругости E находится по нормальным характеристикам.

д) Касательная характеристика баллонных материй

При расчетах оболочки встречается необходимость в определении деформаций от касательных напряжений, возникающих в оболочке. Группы кривых, отображающих зависимость тангенса угла сдвига от касательных напряжений по основе и утку, носят название касательных характеристик материи. Касательные характеристики определяются экспериментально для каждого вида баллонной материи. Определение касатель-

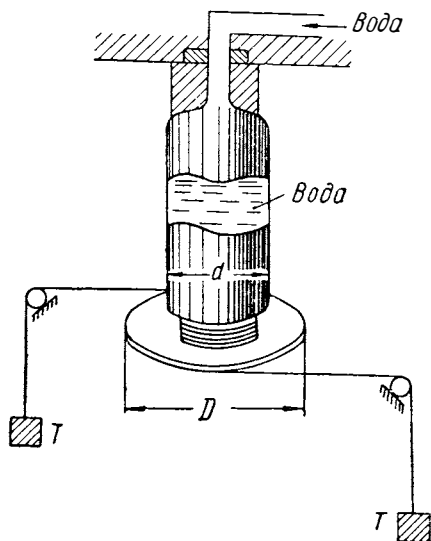


Рис. 89. Схема установки для определения касательных характеристик баллонных материй.

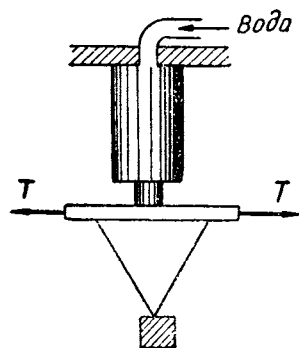


Рис. 90.

ных характеристик материи осуществляется следующим образом. Из испытуемой баллонной материи изготавливается цилиндр диаметром d (рис. 89).

Верхний конец цилиндра неподвижно прикрепляется к станине, нижний конец цилиндра устанавливается на шкиве, посредством которого цилиндр может закручиваться в ту или другую сторону. Поворот шкива, имеющего диаметр D , может осуществляться за счет изменения веса грузов T . Обычно диаметр матерчатого цилиндра составляет 80 мм, а его высота — 300 мм. Цилиндр наполняется водой и внутри цилиндра создается необходимое гидростатическое давление, под действием которого в материи цилиндра возникают взаимно перпендикулярные (продольные и поперечные) напряжения σ_1 и σ_2 . Напряжения в цилиндре, как известно, вдвое больше в направлении, перпендикулярном к оси цилиндра, чем напряжения вдоль оси цилиндра. Чтобы иметь возможность осуществить другие соотношения между σ_1 и σ_2 , цилиндр, наполненный водой, нагружают в осевом направлении, в результате чего получается дополнительная нагрузка по поперечному сечению цилиндра (рис. 90). При сжатии наполненного водой цилиндра в осевом направ-

лении получается уменьшение нагрузки по поперечному сечению цилиндра (рис. 91).

Сочетание дополнительных нагрузок с гидростатическим давлением в цилиндре позволяет создавать необходимые по расчету соотношения между σ_1 и σ_2 .

За основные параметры при определении деформаций, возникающих от касательных напряжений, принимают изменения диаметра и высоты цилиндра, а также тангенса угла сдвига.

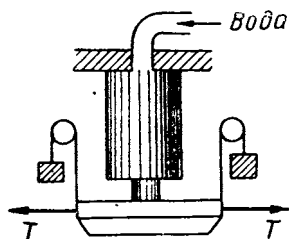


Рис. 91.

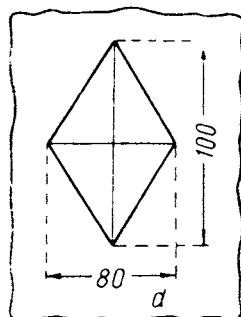


Рис. 92.

Перед испытанием на поверхность матерчатого цилиндра наносится тушью ромб. Вертикальная диагональ ромба обычно равна 100 мм, горизонтальная — 80 мм (рис. 92). При проведении испытаний измерение длин диагоналей и сторон ромба производится с помощью гибкой линейки. Горизонтальная диагональ ромба почти всегда выбирается равной диаметру цилиндра. Если поверхность цилиндра после проведения скручивания при испытании развернуть на плоскость, то деформированный ромб будет иметь вид, указанный на рис. 93.

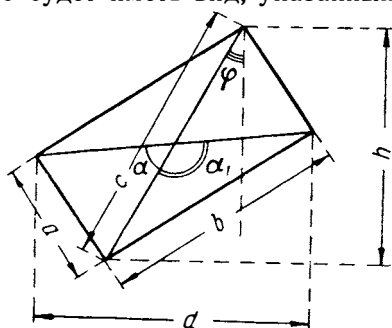


Рис. 93.

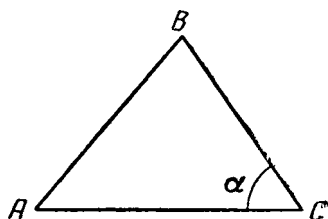


Рис. 94.

Путем измерения линейкой длин диагоналей и сторон ромба определяют:

1) диаметр цилиндра — непосредственным измерением диагонали d ромба;

2) угол φ как дополняющий до 90° или как разность $\alpha_1 - 90^\circ$.

Определение углов α_1 и α_2 производится по общеизвестным правилам.

Как известно, в любом треугольнике ABC (рис. 94) сторона треугольника определяется по формуле

$$AB^2 = AC^2 + BC^2 - 2AC \cdot BC \cos \alpha,$$

откуда

$$\cos \alpha = \frac{AC^2 + BC^2 - AB^2}{2 \cdot AC \cdot BC}.$$

Возвращаясь к предыдущему рисунку, имеем:

$$\cos \alpha = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2 - a^2}{\frac{d \cdot c}{2}},$$

$$\cos \alpha_1 = \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2 - b^2}{\frac{d \cdot c}{2}}.$$

Зная углы α и α_1 , определяют угол φ по следующим уравнениям:

$$\varphi = 90^\circ - \alpha,$$

$$\varphi = \alpha_1 - 90^\circ.$$

Высота h определяется из длины большой диагонали ромба, умноженной на $\cos \varphi$:

$$h = c \cdot \cos \varphi.$$

Для получения касательной характеристики баллонной материи испытания производятся в следующем порядке. Вначале закручивают цилиндр путем последовательного подвешивания грузов весом по 1 кг в направлении, обратном тому, в котором цилиндр скручивается при повышении внутреннего давления. Затем цилиндр постепенно раскручивается путем последовательного снятия грузов и вновь закручивается в обратном направлении. Затем снова постепенно уменьшают скручивающий момент до нуля, после чего цилиндр вновь закручивается в ту же сторону, что и в первый раз. Перед каждым изменением нагрузки замечают деформации цилиндра и по полученным данным строят кривую зависимости φ от величины напряжения сдвига τ при соответствующих комбинациях напряжений σ_1 и σ_2 .

Вычисление касательных напряжений τ производится обычным способом. Величина τ равна:

$$\tau = \frac{M}{W},$$

где M — скручивающий момент;

W — момент сопротивления на кручение.

Принимая во внимание, что, согласно введенных ранее обозначений, сила скручивания равна T , диаметр шкива — D , диаметр цилиндра — d и что баллонная материя представляет в поперечном сечении окружность, будем иметь для τ :

$$\tau = \frac{2T \frac{D}{d}}{\pi d}.$$

Зная значение τ и величину угла φ , а, следовательно, и его тангенс, не представляет затруднений графически выразить $\lg \varphi$ как функ-

цию от касательных напряжений. Этот вид зависимости представлен на рис. 95.

Графическое изображение результатов испытаний имеет вид петли, обусловленной появлением гистерезиса при скручивании материи. Для определения касательной характеристики необходимо заменить полученные кривые гистерезисной петли одной усредненной кривой. Эта необходимость вызывается тем, что при эксплуатации оболочки в материи возникают знакопеременные перенапряжения, в связи с чем общая деформация материи оболочки отвечает некоторой средней кривой. Средняя кривая, общий вид которой приведен на рис. 95, делит площадь гистерезисной петли пополам. Для практических расчетов можно использовать среднюю часть кривой, которая может быть заменена прямой линией,

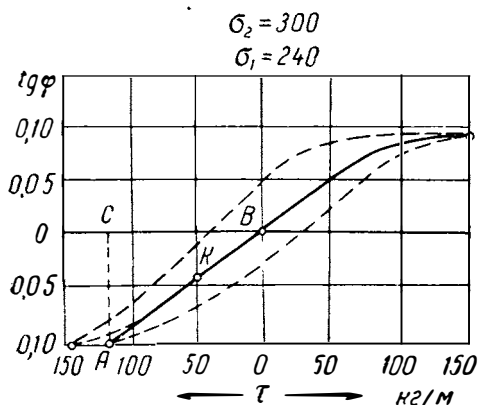


Рис. 95.

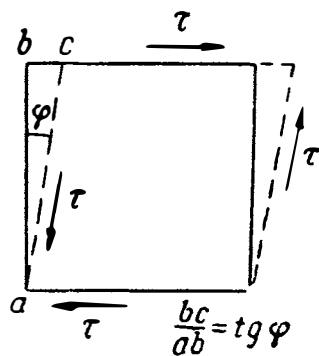


Рис. 96.

вследствие чего к расчету величины сдвига в известных пределах можно применить закон Гука. Известно, что модуль сдвига определяется из соотношения:

$$\frac{\varphi}{\tau} = \frac{1}{G},$$

где φ — изменение угла, измеренное по длине дуги;

τ — напряжение сдвига;

G — модуль упругости при сдвиге.

Имея в виду, что при малых углах закручивания (рис. 96) разница между величинами φ и $\operatorname{tg} \varphi$ весьма незначительна ($\varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$) и, заменяя φ через $\operatorname{tg} \varphi$, имеем:

$$G = \frac{\tau}{\varphi} = \frac{\tau}{\operatorname{tg} \varphi}.$$

В качестве примера определим модуль сдвига в точке K (рис. 95). Продолжим касательную в точке K до максимального положения угла сдвига (точка A) и до нулевого значения угла сдвига (точка B). Точки A и B проектируем на ось абсцисс, тогда $CB = \tau$, и в нашем примере $\tau = 120 \text{ кг/м}$. AC по диаграмме соответствует $\operatorname{tg} \varphi = 0,10$. Тогда, очевидно, модуль сдвига будет равен:

$$G = \frac{\tau}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{120}{0,10} = 1200 \text{ кг/м}.$$

Из рассмотрения диаграмм касательных характеристик следует, что каждой диаграмме соответствует своя комбинация нормальных напряжений σ_2 и σ_1 , иначе говоря, для определения касательных характеристик необходимо иметь целую серию диаграмм, что в достаточной степени усложняет предварительные расчеты.

При проектировании оболочек особо важным является определение величины критического касательного напряжения. Этой величиной определяется то максимальное касательное напряжение, при котором в оболочке не будут образовываться складки. Определение $\tau_{\max}$ может быть выполнено различными методами. Рассмотрим матерчатую оболочку, как балку своеобразной формы, и применим к ней рассуждения, относящиеся к определению главных напряжений при изгибе.

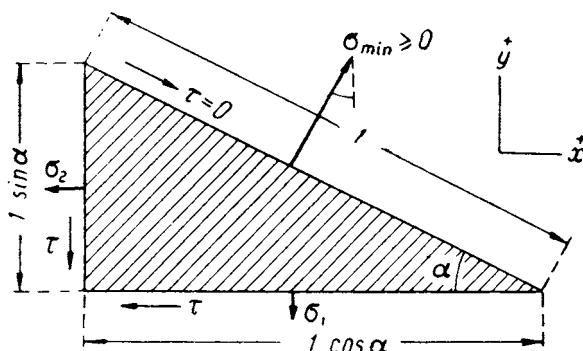


Рис. 97.

На рис. 97 изображена элементарная трехгранная призма, по граням которой приложены нормальные и касательные напряжения. При проектировании напряжений на оси X и Y будем считать положительными направления вправо и вверх. Возьмем сумму проекций на ось X и Y :

$$\sum_{\text{пр.}} X = -\sigma_2 \cdot l \cdot \sin \alpha - \tau \cdot l \cdot \cos \alpha + \sigma_{\min} \cdot l \cdot \sin \alpha = 0, \quad (1)$$

$$\sum_{\text{пр.}} Y = -\sigma_1 \cdot l \cdot \cos \alpha - \tau \cdot l \cdot \sin \alpha + \sigma_{\min} \cdot l \cdot \cos \alpha = 0. \quad (2)$$

Разделив уравнение (1) на $\sin \alpha$, а (2) на $\cos \alpha$, имеем:

$$\sigma_2 + \tau \operatorname{ctg} \alpha - \sigma_{\min} = 0,$$

$$\sigma_1 + \tau \operatorname{tg} \alpha - \sigma_{\min} = 0,$$

откуда

$$\tau \operatorname{ctg} \alpha = \sigma_{\min} - \sigma_2,$$

$$\tau \operatorname{tg} \alpha = \sigma_{\min} - \sigma_1.$$

Перемножив почленно последние уравнения, будем иметь:

$$\tau^2 = (\sigma_{\min} - \sigma_2) (\sigma_{\min} - \sigma_1)$$

или

$$\sigma_{\min}^2 - \sigma_2 \sigma_{\min} - \sigma_1 \sigma_{\min} + \sigma_1 \sigma_2 = \tau^2,$$

откуда

$$\sigma_{\min}^2 - (\sigma_1 + \sigma_2) \sigma_{\min} + (\sigma_1 \sigma_2 - \tau^2) = 0.$$

По условию:

$$\sigma_{\min} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}\right)^2 - (\sigma_1 \sigma_2 - \tau^2)} \geq 0,$$

откуда

$$\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \geq \sqrt{\left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}\right)^2 - (\sigma_1 \sigma_2 - \tau^2)}$$

или

$$\left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}\right)^2 \geq \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}\right)^2 - (\sigma_1 \sigma_2 - \tau^2).$$

Следовательно,

$$0 \geq -(\sigma_1 \sigma_2 - \tau^2)$$

или

$$\sigma_1 \sigma_2 - \tau^2 \geq 0,$$

значит

$$\sigma_1 \sigma_2 \geq \tau^2$$

и

$$\tau_{\max} \leq \sqrt{\sigma_1 \sigma_2}.$$

Максимальное расчетное значение касательного напряжения не должно быть больше корня квадратного из произведения нормальных напряжений, возникающих по основе и утку материи. В противном случае будет иметь место явление складкообразования на оболочке.

Вторым методом определения величины критического касательного напряжения в матерчатой оболочке является метод, основанный на рассмотрении напряжений, возникающих в нитях, являющихся элементами структуры исследуемой ткани. В этом методе допускается ряд упрощений, например: нити считаются геометрически неизменяемыми, силы трения между нитями не учитываются, углы между нитями основы и утка считаются определенными только из геометрических соображений без учета изменения в связи с деформацией и т. п.

Пусть в элементе ткани (рис. 98) под влиянием внешних усилий возникли напряжения σ_1 и σ_2 . Стороны рассматриваемого элементарного образца обозначим через a и b . Каждая сторона элементарного образца включает в себя h_1 поперечных нитей и h_2 продольных нитей ткани. На каждую нить при наличии напряжений σ_1 и σ_2 действуют по два взаимно перпендикулярных усилия:

$$P_1 \text{ и } P_2 \quad \text{и} \quad P_3 \text{ и } P_4.$$

Равнодействующие этих сил R_1 и R_2 в общем случае не совпадают с направлением нитей. Так как клетки ткани не имеют жестких узлов, то для равновесия необходимо, чтобы направления тканей совпадали бы с равнодействующими, т. е. чтобы прямоугольники превратились в параллелограммы.

Пусть α и β — углы, образуемые нитями с каждым из направлений заданных напряжений, тогда для величины сил, действующих на одну нить, получим следующие четыре условия с учетом обозначений, приведенных на рис. 98:

$$P_1 n_1 = \sigma_1 a_1 = \sigma_1 a \cdot \cos \alpha$$

$$P_2 n_1 = \sigma_2 a_2 = \sigma_2 a \cdot \sin \alpha$$

$$P_3 n_2 = \sigma_2 b_1 = \sigma_2 b \sin \beta,$$

$$P_4 n_2 = \sigma_1 b_2 = \sigma_1 b \cos \beta.$$

Разделив последовательно одно на другое, получим:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \operatorname{ctg} \alpha \quad \text{и} \quad \frac{P_3}{P_4} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \operatorname{tg} \beta.$$

Из чертежа имеем

$$\frac{P_1}{P_2} = \operatorname{tg} \beta \quad \text{и} \quad \frac{P_3}{P_4} = \operatorname{ctg} \alpha.$$

Сравнивая, получим:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \operatorname{ctg} \alpha \quad \text{и} \quad \operatorname{ctg} \alpha = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \operatorname{tg} \beta,$$

откуда в обоих случаях будем иметь

$$\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}.$$

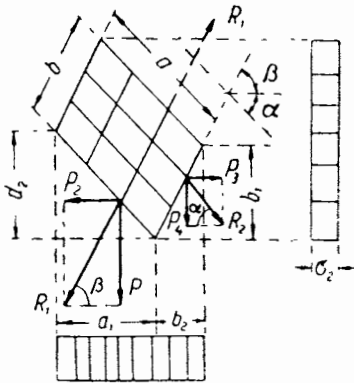
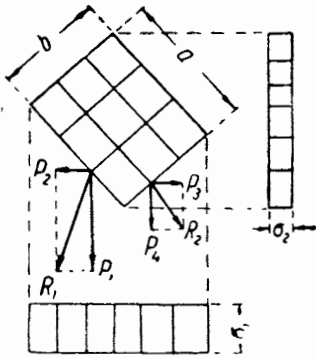


Рис. 98.

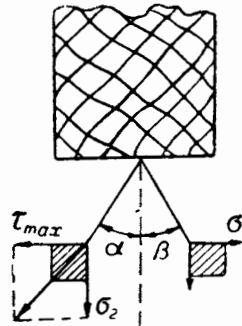


Рис. 99.

Рассмотрим цилиндр из однослойной баллонной материи, скручиваемый силами T (рис. 99).

Пусть углы между нитями, составляющими ткань оболочки цилиндра, и осью цилиндра будут α и β , и пусть ткань сконструирована так, что $\alpha = \beta$. Это равенство углов сохраним как основное условие и при дальнейшем изложении. Пока нет скручивающего момента, продольное напряжение распределится равномерно на обе системы нитей, причем нити будут стремиться расположиться по направлениям равнодействующих усилий, которые возникают в результате воздействия на отдельную нить напряжений σ_1 и σ_2 . Если к усилиям, действующим на отдельную нить, присоединятся усилия, полученные в результате возникнувшего касательного напряжения от скручивающего момента, то одна система нитей будет перегружаться, а другая — разгружаться; при этом будет изменяться и угол с осью цилиндра.

Может наступить момент полной разгрузки одной системы нитей, а если касательное напряжение будет увеличиваться и далее, то в оболоч-

ке образуются складки, так как она не сопротивляется сжимающим усилиям. При этом цилиндр может превратиться в гиперболоид.

Критическое касательное напряжение τ , отнесенное не к отдельной нити, а к длине одного погонного метра, можно определить следующим образом:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_2}$$

(из чертежа), но по предыдущему

$$\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}.$$

По условию $\alpha = \beta$, тогда

$$\operatorname{tg}^2 \alpha = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} \alpha = \sqrt{\frac{\sigma_1}{\sigma_2}},$$

откуда $\tau_{\max} = \operatorname{tg} \alpha \cdot \sigma_2$ и после подстановки значения $\operatorname{tg} \alpha$ имеем

$$\tau_{\max} \leq \sqrt{\frac{\sigma_1}{\sigma_2}} \cdot \sigma_2 \leq \sqrt{\sigma_1 \sigma_2}.$$

При возникновении касательных напряжений, превышающих значение $\tau_{\max}$, в оболочке образуются складки.

Угол сдвига оболочки определяется по максимальному (но не критическому) значению касательного напряжения согласно равенству:

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

Модуль сдвига G всегда может быть определен из соответствующей касательной характеристики баллонной материи.

При круговом поперечном сечении

$$\tau_{\max} = \frac{Q}{\pi R},$$

где Q — перерезывающая сила, действующая в данном поперечном сечении; тогда

$$\varphi = \frac{Q}{G \pi R}.$$

14. Растяжение проволочных канатов

а) Расчет проволочных канатов

Рассмотрим приближенный расчет проволочного каната, состоящего из одной осевой проволоки и наружных проволок, завитых вокруг нее.

Рассмотрим элемент каната (рис. 100), ограниченный сечениями ab и $a'b'$, причем предположим, что плоское сечение каната после растяжения остается попрежнему плоским.

Обозначим:

E_k — модуль упругости каната;

φ — угол свивки;

i — число проволок;

S_0 — растягивающее усилие в осевой проволоке;
 σ_0 — напряжение в осевой проволоке;
 E_0 — модуль упругости осевой проволоки;
 F_0 — площадь поперечного сечения осевой проволоки;
 S_1 — растягивающее усилие в наружных проволоках;
 σ_1 — напряжение в наружных проволоках;
 E_1 — модуль упругости наружных проволок;
 F_1 — площадь поперечного сечения наружной проволоки;
 Δl — абсолютное удлинение каната.

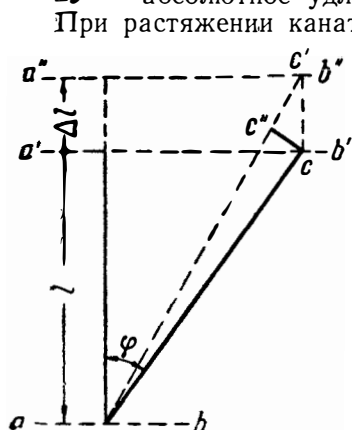


Рис. 100.

При растяжении каната внешней силой P , сечение $a'b'$ переместится в $a''b''$, при этом точка C переместится в точку C' . Это перемещение осуществляется параллельно оси каната, так как мы пренебрегаем поперечным сжатием.

Из треугольника $CC'C''$ найдем абсолютное удлинение $C'C''$ наружной проволоки:

$$C'C'' = CC' \cos \varphi = \Delta l \cos \varphi,$$

где изменением угла φ при растяжении каната пренебрегаем.

По закону Гука

$$\sigma_0 = E_0 \cdot \varepsilon_0,$$

$$\sigma_1 = E_1 \cdot \varepsilon_1,$$

где ε и ε_1 — относительные удлинения при растяжении.
Далее

$$S_0 = E_0 F_0 \frac{\Delta l}{l},$$

$$S_1 = E_1 F_1 \frac{\Delta l}{l} \cos^2 \varphi.$$

Для того чтобы определить удлинение каната Δl , воспользуемся обычными уравнениями статики. Рассечем мысленно канат на две части и рассмотрим равновесие одной из них. Сумма проекций всех усилий в проволоках S_0 и S_1 на направление растягивающей канат силы P равняется этой силе P , т. е.

$$P = (E_0 F_0 + i E_1 F_1 \cos^2 \varphi) \frac{\Delta l}{l},$$

откуда

$$\Delta l = \frac{P \cdot l}{E_0 F_0 + i E_1 F_1 \cos^2 \varphi}.$$

Подставляя в выражения для S_0 и S найденное для Δl значение, получим:

$$S_0 = \frac{P \cdot E_0 F_0}{E_0 F_0 + i E_1 F_1 \cos^2 \varphi},$$

$$S_1 = \frac{P \cdot E_1 F_1 \cos^2 \varphi}{E_0 F_0 + i E_1 F_1 \cos^2 \varphi}.$$

Предполагая, что проволоки каната имеют одинаковое сечение и материал их одинаков, в этом случае получим следующие напряжения для проволок:

$$\sigma_0 = \frac{P}{F(1 + i \cos^3 \varphi)},$$

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot \cos^2 \varphi}{F(1 + i \cos^3 \varphi)}.$$

При малых φ очевидно, что

$$\frac{P}{F(i+1)} < \sigma_1 < \sigma_0$$

и можно заключить, что канат обладает меньшей прочностью, чем сумма прочностей составляющих его проволок. Прочность зависит от угла φ и убывает с возрастанием этого угла. Практика показала, что потеря прочности в канате, имеющем малое число проволок (6), достигает 4—5%, канат двойной свивки с числом проволок 36 имеет потерю прочности от 8 до 15%, канаты с числом проволок более 100 теряют в прочности 25% и более.

Сравнивая выражения

$$\Delta l = \frac{Pl}{E_0 F_0 + i \cdot E_1 F_1 \cos^2 \varphi}$$

и

$$\Delta l = \frac{P \cdot l}{E_{\kappa} F_{\kappa}},$$

где E_{κ} — модуль упругости каната;

F_{κ} — площадь поперечного сечения каната, получим:

$$E_{\kappa} = \frac{E_0 F_0 + i E_1 F_1 \cos^3 \varphi}{F_{\kappa}},$$

$$F_{\kappa} = F_0 + \frac{i F_1}{\cos \varphi}.$$

Если пренебречь сердечником, т. е. взять конструкцию гибкого каната, то можно получить очень простое выражение для E_{κ} , а именно:

$$E_{\kappa} = E_1 \cos^4 \varphi. \quad (a)$$

Величина модуля упругости каната имеет весьма важное значение. Этой величине ранее уделялось мало внимания, так, например, в справочнике «Hütte» значение величины модуля упругости для канатов было приведено с ошибкой более 30%. В современных справочниках эту величину определяют в пределах от 14000 до 18000 кг/мм²; это значение ближе к действительности. По данным механической лаборатории Днепропетровского горного института модуль упругости для проволочных канатов находится в пределах от 16 800 кг/мм² до 19 900 кг/мм². С этими опытными данными очень хорошо сходится и приведенная выше формула (a) профессора А. Н. Динника.

При перегибе каната через ролик в проволоках возникают напряжения от изгиба, которые можно определить по следующей формуле:

$$\sigma = 0,5 E_1 \frac{\delta}{R},$$

где δ — диаметр проволоки;
 R — радиус ролика;
 E_1 — модуль упругости проволоки.

Простейший вывод данной формулы может быть сделан следующим образом.

Обозначим радиус от центра шкива до середины проволоки через R (рис. 101), диаметр проволоки — через δ , угол охвата — через φ .

Длина оси проволоки будет $R\varphi$; длина наружного участка проволоки будет

$$\left(R + \frac{1}{2} \delta \right) \varphi.$$

Удлинение наружного участка проволоки при изгибе равно

$$\left(R\varphi + \frac{1}{2} \delta \varphi \right) - R\varphi = \frac{1}{2} \delta \varphi.$$

Рис. 101.

Относительное удлинение

$$\epsilon = \frac{\frac{1}{2} \delta \varphi}{R\varphi} = 0,5 \frac{\delta}{R}.$$

По закону Гука напряжение $\sigma = E_1 \epsilon$ или

$$\sigma = E_1 \cdot 0,5 \frac{\delta}{R}.$$

Если известен модуль упругости E_k каната, то модуль упругости E_1 проволоки в канате может быть определен, исходя из наличия нижеприведенных давно известных экспериментально установленных зависимостей между этими величинами:

для канатов одинарной свивки $E_1 = 1,10 E_k$,
 » » двойной » $E_1 = 1,22 E_k$,
 » » тройной » $E_1 = 1,35 E_k$.

б) Диаграммы растяжений проволоочных канатов

При растяжении мягкой углеродистой стали может быть получена типичная диаграмма растяжения, вид которой приведен на рис. 102.

Имеющаяся на кривой растяжения точка A соответствует пределу пропорциональности, B — пределу текучести, D — пределу прочности.

¹ А. И. Колчин предложил для определения напряжений изгиба следующую формулу: $\sigma_{изг} = \beta E \frac{\delta}{D}$, где $\beta = 0,042-0,09$ в зависимости от конструкции каната.

Модуль упругости может быть выражен через величину тангенса угла α взятой в соответствующей размерности. Если углеродистая сталь подвергается механической обработке, то изменяются и ее механические свойства (рис. 102 — 1, 2, 3). Изменение механических свойств проволоки может заключаться в повышении предела пропорциональности, значение которого может весьма близко подходить к значению предела прочности, в исчезновении точек, соответствующих пределу текучести, в сокращении значений относительного удлинения при разрыве.

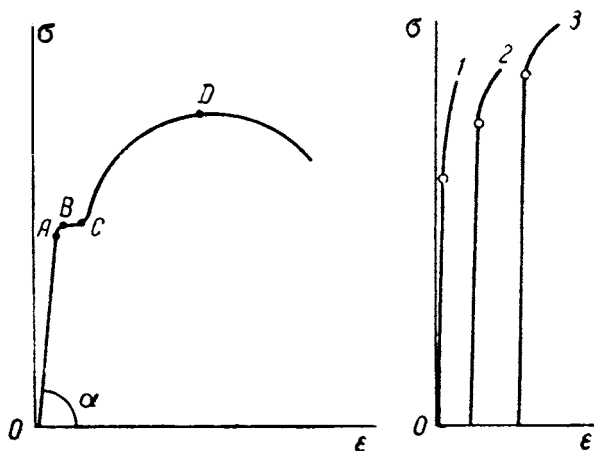


Рис. 102.

По справочникам величина допускаемого напряжения на металлические изделия составляет примерно $\frac{1}{4}$ от предела прочности или некоторую долю от предела пропорциональности. Для аэростатных тросов коэффициент безопасности принят 2—4 для аэростатов различного назначения. Учитывая, что предел пропорциональности аэростатных тросов весьма высок и близок к пределу прочности проволоки, составляющих трос, можно утверждать, что принятые коэффициенты безопасности для аэростатных тросов находятся в полном соответствии с напряжениями, допускаемыми по справочникам для ответственных сталей. Проволочные канаты, используемые в шахтных подъемниках, лифтах и канатных железных дорогах, обычно имеют более высокий коэффициент безопасности, равный 5—6, так как эти канаты находятся непрерывно в работе и непрерывно испытывают переменные изгибы на роликах, что в большой степени отражается на живучести канатов. Живучесть канатов зависит от диаметра роликов, канавки роликов, гибкости самого каната, числа перегибов и величины натяжения в канате. Все эти факторы влияют также и на живучесть аэростатного троса, который в зависимости от условий эксплуатации снимается и заменяется новым через различные промежутки времени.

Диаграммы растяжения проволочных канатов (тросов) приведены на рис. 103 и 104. Диаграмма растяжения проволочного каната имеет своеобразный характер, отличный от диаграммы растяжения стального стержня со сплошным поперечным сечением. Диаграмма, приведенная на рис. 103, прежде всего характеризуется наличием участка OA , обращенного выпуклостью вниз. Наличие этого участка на кривой растяжения проволочного каната объясняется тем, что в начальном периоде растяжения происходит «упаковка» (обтяжка) проволоки, из которых изго-

товлен канат. Далее растяжение каната почти точно следует закону Гука. Этой области растяжения соответствует участок диаграммы AB . Прямой участок после точки B переходит в плавную кривую, оканчивающуюся точкой разрыва троса. Конец прямого участка, т. е. точка B , может соответствовать значению предела пропорциональности троса. Поскольку канат изготовлен из проволок с весьма высоким значением предела прочности, то явно выраженного предела текучести в диаграмме растяжения не наблюдается, также отсутствует и точка, соответствующая моменту образования шейки. Относительное удлинение каната в момент разрыва достигает максимум 2,5—3,0%.

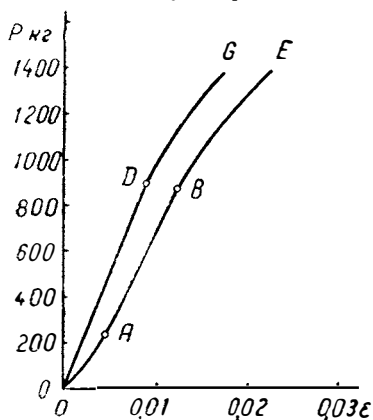


Рис. 103.

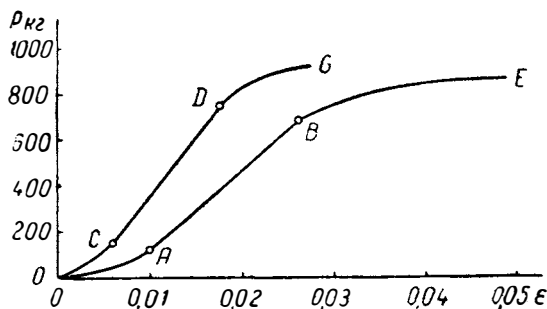


Рис. 104.

Если трос, не доводя до разрыва, предварительно подвергнуть растяжению не выше предела пропорциональности и после этого процесса снять диаграмму растяжения, то вид диаграммы растяжения несколько изменится (рис. 103). Участок OD на этой диаграмме является почти прямолинейным, в то время как имевшаяся ранее выпуклость кривой почти исчезает. После точки D , соответствующей пределу пропорциональности троса, следует криволинейный участок DG , причем точка G соответствует разрыву троса. Величина относительного удлинения в момент разрыва при этом повторном испытании уменьшается примерно на 25—30% по отношению к удлинению нового троса, составляя всего 1,5—1,7%.

Для проведения расчетов целесообразно пользоваться диаграммой растяжения, полученной после предварительного нагружения троса, так как такая диаграмма ближе соответствует состоянию троса, уже находящегося в эксплуатации. По диаграмме растяжения предварительно обтянутого троса можно достаточно четко определить предел пропорциональности и соответствующее ему относительное удлинение. Предел пропорциональности может быть выражен в обычных единицах, т. е. в $кг/см^2$ или в $кг/мм^2$. Однако следует заметить, что для проволочных канатов выражение предела пропорциональности в этой размерности не имеет особого практического смысла. Действительно, пусть точка D диаграммы (рис. 103) отвечает пределу пропорциональности проволочного каната. Допустим, что этому пределу соответствует растягивающее усилие в 900 кг. Пусть конструкция нашего каната $6 \times 6 + 7$ о. с. и проволоки имеют диаметр 0,45—0,47 мм, тогда площадь поперечного сечения каната будет составлять около 5,8 $мм^2$. В данном случае предел пропорциональности всего каната в целом составит: $900 : 5,8 = 155 \text{ кг/мм}^2$.

Эта величина не имеет практического значения, во-первых, потому, что фактический предел пропорциональности отдельной проволоки, составляющей канат, превышает 200 кг/мм^2 , а, во-вторых, практически требуется решение обратной задачи, а именно: какому же усилию в тросе данного диаметра и данной конструкции соответствует предел пропорциональности троса? Ответ на этот вопрос может быть получен, исходя из положения точки D на диаграмме растяжения троса (рис. 103), поэтому предел пропорциональности троса, исходя из требований эксплуатации, целесообразнее указывать непосредственно в кг. Каждый проволочный канат должен быть снабжен формуляром, где указываются конструкция троса, диаметр, разрывное усилие и вес одного погонного метра троса. Необходимо, чтобы в формуляре указывался и предел пропорциональности троса в кг. Согласно существующему правилу, если при эксплуатации трос подвергнется действию усилия, превышающего по своей величине предел пропорциональности данного троса, то такой трос должен быть немедленно снят с эксплуатации и передан в соответствующие лаборатории для испытаний.

Путем выбора конструкции троса и подбора специальных сталей для проволок можно изготовлять тросы, в момент разрыва которых относительное удлинение достигает пяти и более процентов (рис. 104). В этом случае при растяжении троса наблюдается тот же участок OA , далее прямой участок AB , где точка B соответствует пределу пропорциональности троса, и, наконец, достаточно длинный криволинейный участок BE , где точка E соответствует моменту разрыва троса. Если подобные тросы, не превышая предела пропорциональности, подвергнуть предварительному растяжению, то при повторном нагружении такого троса получается диаграмма растяжения, характеризующаяся кривой OG с прямолинейным участком CD . Рассматривая кривую OG , можно сделать заключение, что высокие относительные удлинения троса резко уменьшаются при повторном нагружении троса.

Модуль упругости проволочного каната определяется обычными методами. Канат подвергается растяжению под действием возрастающей ступенчатой нагрузки. После каждого нагружения (ступеньки) канат разгружается до нуля. Результаты испытаний записываются на диаграммном приборе разрывной машины. Для проведения испытаний следует рекомендовать образцы троса длиной не менее 7—10 метров, так как при этой длине может быть обеспечена хорошая точность отсчета удлинений. В случае повторного растяжения проволочного каната модуль упругости может быть определен с достаточной точностью, как тангенс угла наклона прямого участка кривой растяжения к оси удлинений. Например, на диаграмме рис. 103 точке D , как это указывалось выше, соответствует предел пропорциональности $\sigma = 155 \text{ кг/мм}^2$. Относительное удлинение, соответствующее этой точке, составляет 0,009, тогда будем иметь модуль упругости $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{155}{0,009} \approx 17220 \text{ кг/мм}^2$.

в) Примеры проектирования проволочных канатов

В некоторых областях промышленности уже применяются канаты из проволоки с пределом прочности до 350 кг/мм^2 ¹, что позволяет вести проектирование проволочных канатов в более широких пределах.

¹ В. И. Боголюбский, И. М. Голубев, И. И. Амитин, Проволочные канаты, Металлургиздат, 1950.

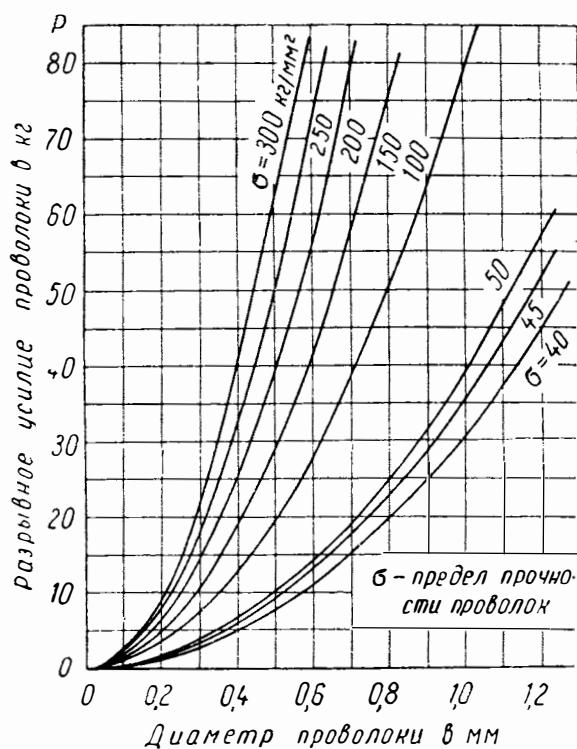


Рис. 105.

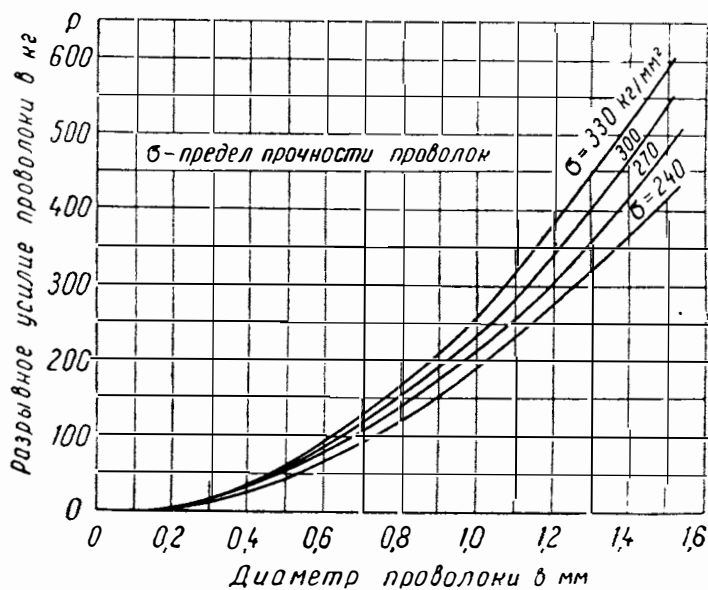


Рис. 106.

При предварительном проектировании аэростатных тросов можно рекомендовать пользоваться приближенным табличным и графическим материалом, в большой степени сокращающим вычисления (см. таблицу 6 и рис. 105—109).

Таблица 6

Поперечные сечения при диаметре

Диаметр (в мм)	Попереч- ное сече- ние (в мм ²)	Диаметр (в мм)	Попереч- ное сече- ние (в мм ²)	Диаметр (в мм)	Попереч- ное сече- ние (в мм ²)	Диаметр (в мм)	Попереч- ное сече- ние (в мм ²)
0,05	0,002	0,55	0,238	1,05	0,866	1,55	1,887
0,10	0,008	0,60	0,288	1,10	0,950	1,60	2,011
0,15	0,018	0,65	0,332	1,15	1,039	1,65	2,137
0,20	0,031	0,70	0,385	1,20	1,131	1,70	2,270
0,25	0,049	0,75	0,442	1,25	1,227	1,75	2,405
0,30	0,071	0,80	0,503	1,30	1,327	1,80	2,545
0,35	0,096	0,85	0,567	1,35	1,431	1,85	2,688
0,40	0,126	0,90	0,636	1,40	1,531	1,90	2,835
0,45	0,159	0,95	0,709	1,45	1,651	1,95	2,936
0,50	0,196	1,00	0,785	1,50	1,767	2,00	3,142

Рассмотрим несколько примеров.

Пусть разрывная длина троса задана и составляет 32 км. В процессе проектирования рассчитано максимальное усилие, действующее на трос, — 600 кг. По характеру проектируемого объекта коэффициент безопасности выбирается равным 2,5. Тогда разрывное усилие для проектируемого троса должно составлять:

$$P_{\text{кг}} = 600 \times 2,5 = 1500 \text{ кг.}$$

Разрывная длина $L = 32\,000 \text{ м}$, тогда

$$\frac{P}{q} = L$$

или в нашем примере

$$\frac{1500}{q} = 32\,000 \text{ м,}$$

где q — вес 1 пог. метра троса в кг, откуда $q = 0,047 \text{ кг}$ или 47 г.

Выбираем конструкцию троса $6 \times 6 + 7 \text{ о. с.}$ По диаграмме (рис. 108) проволоки для троса будут иметь диаметр 0,45 мм, а диаметр такого троса по графику, приведенному на рис. 108, составит 4 мм. Трос выбранной конструкции теряет при свивке 10% прочности. Следовательно, суммарное разрывное усилие 36 проволок должно составлять $1500 : 0,9 = 1660 \text{ кг}$. Обращаясь к графику на рис. 109, находим для данного разрывного усилия троса найденного диаметра проволок в 0,45 мм предел

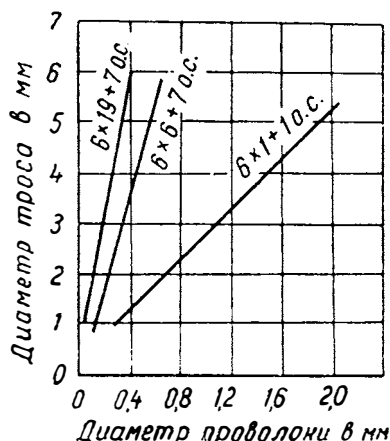


Рис. 107

прочности проволоки в $\sigma = 280 \text{ кг/мм}^2$. Таким образом, технические требования для проектируемого троса будут:

- 1) конструкция — $6 \times 6 + 7 \text{ о. с.}$;
- 2) вес одного погонного метра троса не более 47 г/м ;
- 3) предел прочности проволок не менее 280 кг/мм^2 ;
- 4) разрывное усилие троса не менее 1500 кг ;
- 5) диаметр троса 4 мм ;
- 6) диаметр проволок $0,45 \text{ мм}$.

Если разрывная длина троса не задана, то конструирование троса в зависимости от назначения объекта может быть произведено следующим образом:

Выбираем конструкцию троса, например, $6 \times 6 + 7 \text{ о. с.}$

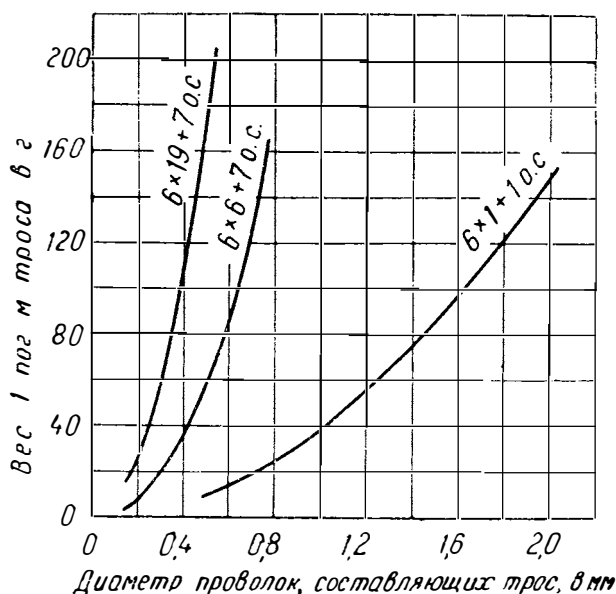


Рис. 108.

Пусть попрежнему необходимое разрывное усилие троса задано равным 1500 кг . Учитывая 10% потери прочности при свивке троса, будем иметь суммарное разрывное усилие всех 36 проволок — 1660 кг , а разрывное усилие одной проволоки — $1660 : 36 = 46 \text{ кг}$. По графику на рис. 105 данному разрывному усилию соответствуют проволоки различного диаметра в зависимости от предела прочности; при значении последнего 300 кг/мм^2 проволока будет иметь диаметр $0,43 \text{ мм}$, при пределе прочности в 250 кг/мм^2 проволока будет иметь диаметр в $0,48 \text{ мм}$.

Допустим, что проектирующему необходимо выбрать высокопрочный материал. В этом случае следует остановиться на пределе прочности в металле проволоки в 300 кг/мм^2 . Диаметр проволоки, как указывалось выше, составит $0,43 \text{ мм}$. Диаметр троса данной конструкции определится по графику на рис. 107 и составит $3,8 \text{ мм}$. Вес одного погонного метра троса, равный 42 г/м , может быть определен по графику на рис. 108.

Разрывная длина троса составит:

$$L = \frac{1500}{0,042} = 35\,700 \text{ м.}$$

Рассмотрим еще пример. Пусть задана разрывная длина троса, равная 36 000 м. Выбираем конструкцию троса более жесткую, чем в разобранных выше примерах, а именно: $6 \times 1 + 1$ о. с. Разрывное усилие

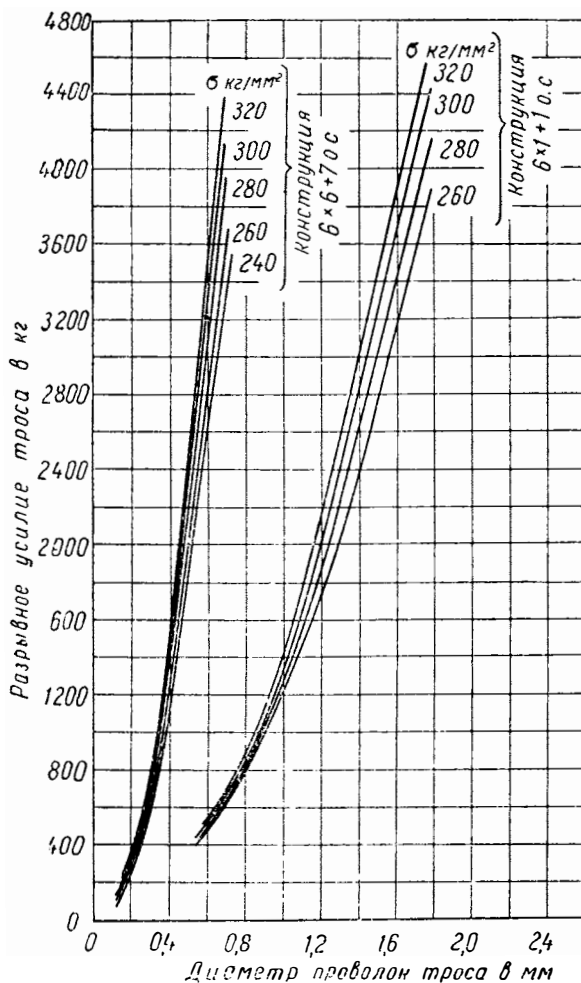


Рис. 109.

троса с учетом коэффициента безопасности рассчитано в 2000 кг. Потери прочности при свивке в тросе этой конструкции меньше и составляют 4%. Значит суммарное разрывное усилие всех шести проволок будет $2000 : 0,96 = 2080$ кг.

Вес троса определяется из заданных величин:

$$36\,000 = \frac{2000}{q},$$

откуда

$$q = 55,5 \text{ г/м.}$$

По диаграмме на рис. 108 тросу такого веса будут соответствовать проволоки диаметром 1,2 мм. Обращаясь к диаграмме на рис. 109, находим, что усилию 2080 кг и диаметру проволок 1,2 мм должен соответствовать предел прочности проволок в пределах между 300 и 320 кг/мм². Выбираем 310 кг/мм². В этом случае технические требования для проектируемого троса будут:

конструкция — $6 \times 1 + 1$ о. с.;
разрывное усилие — 2000 кг;
вес — 55,5 г/м;
предел прочности проволок — 310 кг/мм²;
диаметр проволок — 1,2 мм;
диаметр троса — 3,6 мм.

15. Растяжение веревок

Канаты и фалы из длиноволокнистых материалов (лен, шелк, капрон, пенька, хлопок) могут быть использованы для изготовления такелажа аэростатов и строповой системы парашютов. Изучению механических свойств веревочных изделий, к сожалению, уделялось мало внимания, в связи с чем конструктору при проектировании приходится пользоваться весьма ограниченным материалом, а иногда и самому проводить испытания для решения отдельных частных вопросов.

Зависимость между нагружением и деформацией веревочных изделий не подчиняется закону Гука и может быть выражена лишь степенной функцией общего вида.

Рассмотрим растяжение крученной льняной веревки. Для проведения данного испытания образец льняной веревки закрепляется на разрывной машине при помощи «улиток», представляющих собой металлические диски или цилиндры с канавкой, по которой прокладывается веревка. Цель применения «улиток» вместо обычно используемых зажимов заключается в том, чтобы предохранить веревку от обрыва в зажимах и избежать выползания концов образца веревки из зажима при проведении испытания.

При использовании «улиток» разрыв образца веревки должен происходить в большинстве случаев приблизительно в средней его части. Измерение удлинений в этом случае представляет некоторые затруднения. Запись диаграммного прибора разрывной машины не отображает действительного характера удлинений, так как веревка вытягивается частично из улиток в первый период растяжения. Для определения действительных удлинений при креплении веревок в «улитках» следует либо наметить расчетный участок между «улитками» и измерять его длину при растяжении, либо испытывать на горизонтальной машине образцы веревок длиной в несколько метров, так как в этом случае величина выползания образца из «улиток» по отношению к общему удлинению невелика и возможно применение диаграммного прибора.

На рис. 110 приведены кривые растяжения льняной веревки. Кривая 1 показывает характер растяжения недекатированной веревки, кривая 2 — характер растяжения той же веревки после декатирования. Сравнение кривых свидетельствует о значительном уменьшении удлинений веревки после ее декатирования.

Кривые могут быть приблизительно выражены следующими уравнениями:

для кривой 1

$$P = 1,85 \cdot 10^4 \cdot \epsilon^2,$$

для кривой 2

$$P = 16 \cdot 10^4 \cdot \epsilon^2,$$

где P — растягивающее усилие в кг и, следовательно, коэффициент при ϵ также выражен в кг. На рис. 110 пунктиром намечены кривые, построенные по приведенным выше формулам.

Для практических расчетов, помимо основной зависимости между растягивающими усилиями и деформациями, необходимо знать общий ход деформаций при повторном нагружении и разгрузении образца.

Изменение хода деформации зависит в большей степени от режима декатирования и материала веревки.

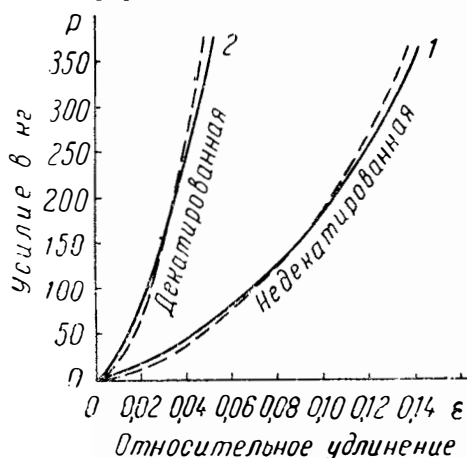


Рис. 110. Диаграмма растяжения веревки.

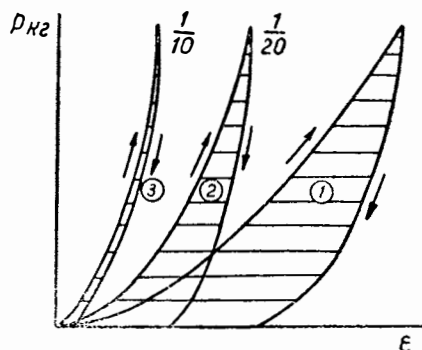


Рис. 111.

На рис. 111 приведены примерные диаграммы растяжения недекатированной веревки (1) и декатированных при режимах в $1/20$ (2) и в $1/10$ (3) от разрывного усилия. Из диаграмм следует, что недекатированная веревка при снижении величины растягивающих нагрузок обладает значительным гистерезисом и остаточным удлинением. При режиме декатирования в $1/20$ от разрывного усилия площадь гистерезиса и остаточное удлинение значительно уменьшаются. Веревка, декатированная при усилии в $1/10$ от разрывного, характеризуется малой площадью гистерезисной петли и небольшим остаточным удлинением.

Материал и конструкция веревочных изделий влияют на характер деформаций. На рис. 112 приведены диаграммы растяжения недекати-

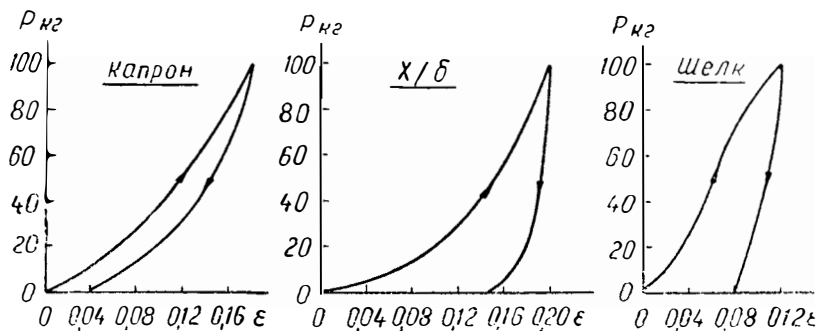


Рис. 112.

рованных капроновых, хлопчатобумажных и шелковых плетеных строп (фал).

Сравнение этих диаграмм показывает, что стропы, изготовленные из различных материалов, деформируются неодинаково. Обращает на себя внимание величина гистерезиса хлопчатобумажных строп и, как следствие, большое, характерное для этих строп, остаточное удлинение; в меньшей степени эти факторы наблюдаются у шелковых строп и еще в меньшей степени — у капроновых. Влияние декатирования на стропы из этих материалов представлено кривыми растяжения на рис. 113, где сплошными линиями показаны результаты растяжения до декатирования, пунктирными — после декатирования. Декатирование значительно сказывается на растяжении хлопчатобумажных и шелковых строп и почти не влияет на капроновые стропы.

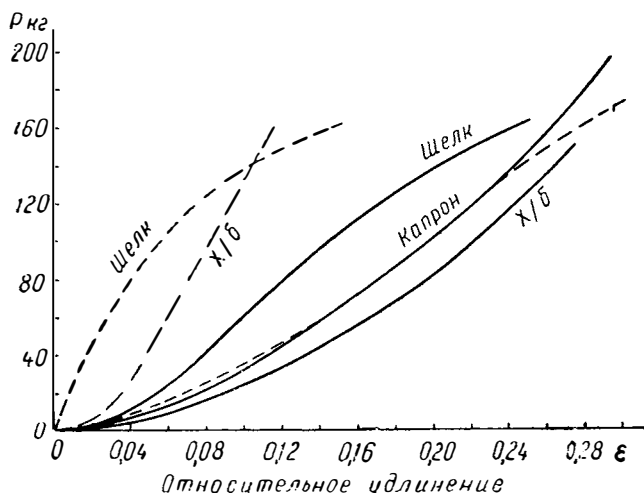


Рис. 113.

Приведенные результаты позволяют сделать вывод, что веревочные изделия из шелка, хлопка и льна при изготовлении такелажа для аэростатов и строп для парашютов должны быть подвергнуты предварительному декатированию; что же касается капроновых веревок, то подвергать их декатированию нецелесообразно, так как механические свойства их в этом случае практически не изменяются.

В практике эксплуатации аэростатов и парашютов особый интерес представляют внезапно приложенные и динамические нагрузки. Интересно сравнить результаты исследований деформации веревочных изделий в случаях применения статических, внезапно приложенных и динамических нагрузок. Внезапно приложенные нагрузки в зависимости от свойств материала приводят к различным по величине деформациям. На рис. 114 приведены деформации хлопчатобумажных, шелковых и капроновых строп при внезапно приложенных нагрузках, величина которых указана на графиках. Основная деформация строп выявляется уже в первые секунды после приложения нагрузки. Далее, в течение первых двух минут относительные удлинения продолжают несколько увеличиваться, после чего достигнутая величина удлинения почти не меняется во времени. На рис. 114 показано изменение деформаций строп в течение пяти минут. Проведение более длительных испытаний показало, что действие внезапно приложенной вначале нагрузки в течение суток при-

водит к увеличению относительного удлинения не более, чем на 1—1,5% по отношению к значению этих удлинений, замеренных через две минуты после приложения нагрузки. На рис. 114 показаны также и значения остаточных относительных удлинений, остающихся после удаления внезапно приложенных нагрузок. Величина этих остаточных удлинений представлена вертикальными прямыми, соединяющими концы кривых растяжения с точками, имеющими индекс $P = 0$.

При исследовании деформаций в веревочных изделиях от внезапно приложенных нагрузок, особый интерес представляет вопрос о сравнении величин этих деформаций с деформациями при статическом нагружении, при котором усилия увеличиваются непрерывно от нуля до величины P .

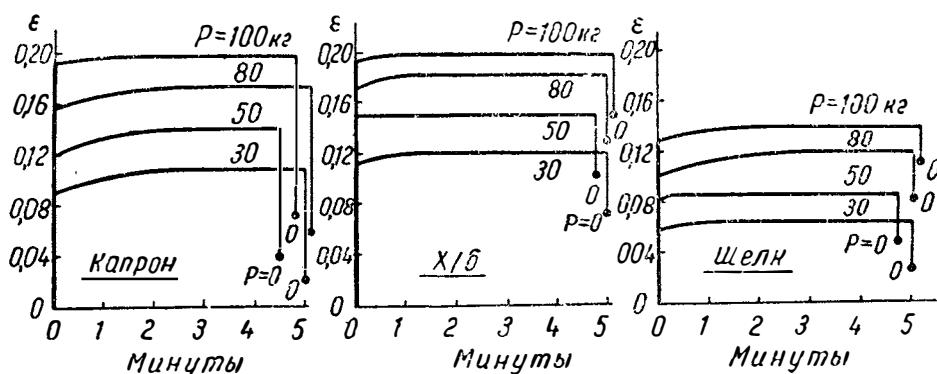


Рис. 114.

В теории колебаний упругих систем (для материалов, подчиняющихся закону Гука) приводятся общеизвестные формулы:

$$\Delta l_g = \Delta l_{ст} + \sqrt{\Delta l_{ст}^2 + 2\Delta l_{ст} h}$$

или

$$\Delta l_g = \Delta l_{ст} + \sqrt{\Delta l_{ст}^2 + \frac{\Delta l_{ст} v^2}{g}},$$

где Δl_g — абсолютное удлинение при ударе;
 $\Delta l_{ст}$ — абсолютное удлинение при статических нагрузках;
 h — высота падения ударяющего груза;
 v — скорость ударяющего груза в момент начала удара;
 g — ускорение.

При $h = 0$, что и соответствует понятию внезапно приложенной нагрузки, v также равна нулю и из обеих формул следует:

$$\Delta l_{вн} = 2\Delta l_{ст}.$$

Веревоочные изделия не подчиняются закону Гука, поэтому применять для них вышеприведенные формулы нельзя. Сравнивая диаграммы растяжения (рис. 113 и 114) веревочных недекатированных изделий в случае приложения внезапных и статических нагрузок, можно вывести следующие эмпирические соотношения для отношения деформаций:

капроновые стропы — $\Delta l_{вн} = 1,25 \Delta l_{ст}$;
шелковые стропы — $\Delta l_{вн} = 1,4 \Delta l_{ст}$;
хлопчатобумажные стропы — $\Delta l_{вн} = 1,1 \Delta l_{ст}$.

Для декатированных строп соотношения между деформациями при внезапно приложенных и статических нагрузках будут иными. В этом случае для шелковых, хлопчатобумажных и льняных строп необходимо иметь диаграммы, определяющие величину удлинений при внезапно приложенных и статических нагрузках в соответствии с выбранными режимами декатирования. Исследования в этой области показали, что значения $\Delta l_{\text{вн}}$ для декатированных хлопчатобумажных строп могут достигать величины 1,75, а для шелковых — 1,5 от $\Delta l_{\text{ст}}$.

При всех случаях значение $\Delta l_{\text{вн}}$ для веревочных изделий никогда не достигает величины $2\Delta l_{\text{ст}}$, что должно было бы иметь место в случае применимости закона Гука к веревочным изделиям.

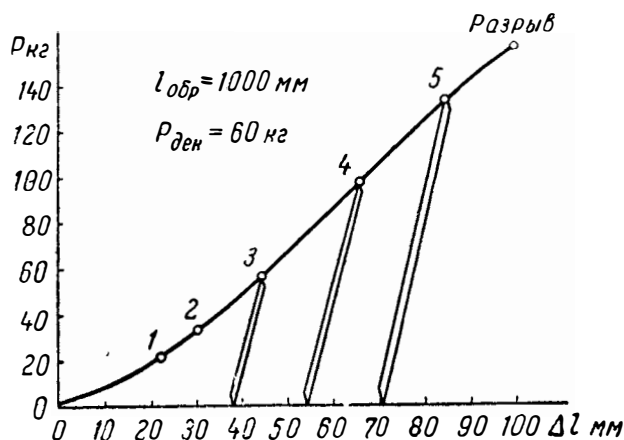


Рис. 115.

Испытание декатированных веревочных изделий во многих случаях может быть произведено по методике, принятой для испытания проволочных канатов. В качестве иллюстрации на рис. 115 приводится диаграмма испытания хлопчатобумажной стропы, декатированной при растяжении под нагрузкой в $1/3$ от разрывного усилия. Из приведенной на диаграмме кривой следует, что участок между точками 2 и 5 может быть принят за прямолинейный. Метод ступенчатой нагрузки, принятый для определения модуля упругости проволочных канатов (точки 3, 4 и 5), вполне может быть применим и для испытания декатированных веревочных изделий. Фактически, для этих изделий, в границах прямого участка кривой растяжения, может быть определен модуль упругости декатированной веревки. Таким образом, основные выводы прикладной теории упругости не только вполне применимы, но и безусловно необходимы при расчетах веревочного такелажа для аэростатов и строповой системы парашютов.

Большой интерес представляет изучение влияния динамических нагрузок на веревочные изделия. Этому вопросу посвящено очень мало исследований, да и те скорее носят разведывательный характер. На основании результатов, полученных в этих исследованиях, можно сделать следующие предварительные выводы: разрывное усилие для веревочных изделий при динамических нагрузках заметно повышается по отношению к статическим нагрузкам при равных относительных удлинениях в момент разрыва; кривые растяжения при динамических нагрузках располагаются несколько круче по отношению к тем же кривым при статиче-

ских нагрузках, т. е. одному и тому же усилию в стропе соответствует меньшее удлинение при динамических нагрузках, чем это имеет место при том же усилии при статических нагрузках; декатированные веревочные изделия характеризуются более выпрямленной кривой растяжения по сравнению с недекатированными изделиями. Все эти выводы пока носят общий характер и продолжение работ в этой области совершенно необходимо для получения расчетных формул.

При проектировании веревочного такелажа со скользящей подвеской, часто необходимо знать коэффициенты трения веревочных изделий по металлу (жоушам). Эти коэффициенты обычно не приводятся в справочниках. На основании исследований, специально посвященных этому вопросу, можно считать, что величина коэффициентов трения веревочных изделий составляет для хорошо отшлифованной металлической поверхности ($\gamma\gamma$) — 0,13 и по шероховатой поверхности (γ) — 0,38.

16. Растяжение резиновых амортизаторов

Резиновые амортизаторы широко применяются в конструкциях аэростатов переменного объема. Применение амортизаторов в качестве регуляторов изменения объема оболочки связано с определенными механическими свойствами резины, которыми руководствуется конструктор при проектировании. Требования, предъявляемые к амортизаторам, помимо основных данных по зависимости величины деформации от нагружения, должны учитывать температурную зависимость механических свойств, значения модуля упругости и другие свойства резины.

Рассмотрим некоторые вопросы, относящиеся к растяжению материалов, подчиняющихся закону Гука, в том числе и резины. Пусть призматический или круглый стержень, изготовленный из материала, подчиняющегося закону Гука, растягивается постепенно возрастающими нагрузками. На рис. 116 представлена диаграмма растяжения этого стержня до напряжений, не превышающих величины предела пропорциональности материала.

Если P — усилие, растягивающее стержень, а Δl — абсолютное удлинение, то работа T , совершаемая нагрузкой, возрастающей от нуля до значения P на пути, соответствующем абсолютному удлинению Δl , очевидно, будет равна площади треугольника, заштрихованной на чертеже

$$T = \frac{P \cdot \Delta l}{2}.$$

Работа, отнесенная к единице объема, может быть получена, как частное от деления общей работы T на объем бруска Fl , где F — поперечное сечение бруска, а l — его длина. Имеем

$$\frac{T}{Fl} = \frac{1}{2} \frac{P}{F} \cdot \frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{2} \sigma \cdot \epsilon.$$

По закону Гука

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E},$$

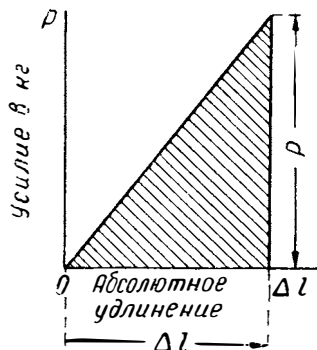


Рис. 116.

тогда

$$\frac{T}{Fl} = \frac{\sigma^2}{2E},$$

где σ — величина напряжения, а
 E — модуль упругости.

При растяжении стержня работа превращается в потенциальную энергию деформированного тела и, следовательно, по величине этой работы можно судить о количестве энергии, которое накоплено в растягиваемом стержне. В курсах сопротивления материалов и прикладной теории упругости обычно приводится в качестве примера растяжение материалов, резко различающихся по своим свойствам (железа и каучука). Принято считать: модуль упругости железа $E_{\text{ж}} = 2\,000\,000 \text{ кг/см}^2$; модуль упругости каучука $E_{\text{к}} = 10 \text{ кг/см}^2$; предел пропорциональности для железа — 2000 кг/см^2 ; предел пропорциональности для каучука — 20 кг/см^2 .

Тогда количество потенциальной энергии, которое может быть накоплено в единице объема железного или каучукового бруска, будет составлять:

для железа:

$$\frac{T}{Fl} = \frac{\sigma^2}{2E} = \frac{2000^2}{2 \cdot 2\,000\,000} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{см}}{\text{см}^3},$$

для каучука:

$$\frac{T}{Fl} = \frac{\sigma^2}{2E} = \frac{20^2}{2 \cdot 10} = 20 \frac{\text{кг} \cdot \text{см}}{\text{см}^3}.$$

Следовательно, при одном и том же объеме, каучук может накопить при растяжении примерно двадцатикратное количество энергии, по отношению к железу. При растяжении наблюдается уменьшение поперечных размеров стержня. Материалы, характеризующиеся при растяжении сравнительно небольшим относительным удлинением (железо, сталь) имеют и незначительное уменьшение поперечных размеров, в связи с чем этим уменьшением обычно пренебрегают. Растяжение резины наоборот характеризуется большим относительным удлинением и значительным уменьшением поперечного сечения образца.

Поперечное сжатие материалов при растяжении характеризуется коэффициентом поперечного сжатия μ , различным для разных материалов. Значение μ выражается отношением:

$$\mu = \frac{\epsilon_{\text{сж}}}{\epsilon_{\text{удл}}}.$$

Коэффициенты поперечного сжатия имеют следующие значения, указанные в справочниках:

железо — 0,28,	никель — 0,33,	бронза — 0,36,
сталь — 0,29,	алюминий — 0,26,	резина — 0,47,
медь — 0,34,	цинк — 0,27,	парафин — 0,50.

Зная коэффициенты поперечного сжатия материала, можно вычислить относительное приращение объема и поперечные размеры при растяжении. Определение этих величин основано на следующих рассуждениях: рассмотрим растяжение бруска с учетом его поперечного сжатия и допустим, что брусок представляет собой куб с ребром, равным еди-

нице. Объем бруска до растяжения будет $V_1 = 1 \text{ см}^3$. Объем бруска V_2 после растяжения будет:

$$V_2 = (1 + \epsilon)(1 - \mu\epsilon)^2.$$

Раскрывая скобки, получим:

$$V_2 = 1 - 2\mu\epsilon + \mu^2\epsilon^2 + \epsilon - 2\mu\epsilon^2 + \mu^2\epsilon^3.$$

Обычно для материалов пренебрегают по малости членами второго порядка: $\mu^2\epsilon^3$, $2\mu\epsilon^2$ и $\mu^2\epsilon^2$, тогда

$$V_2 = 1 + \epsilon(1 - 2\mu),$$

откуда относительное приращение объема будет:

$$\frac{V_2 - V_1}{V_1} = \epsilon(1 - 2\mu),$$

что и представляет собой общеизвестную формулу в сопротивлении материалов.

Когда рассматривается растяжение резины, то, естественно, возникает вопрос, что представляют собою члены $\mu^2\epsilon^3$, $2\mu\epsilon^2$ и $\mu^2\epsilon^2$. Если принять узаконенное для резины значение $\mu = 0,47$ и рассматривать величину этих членов при $\epsilon = 2$, то получим:

$$\mu^2\epsilon^3 = 0,47 \cdot 8 = 1,76.$$

$$2\mu\epsilon^2 = 2 \cdot 0,74 \cdot 4 = 3,76,$$

$$\mu^2\epsilon^2 = 0,47^2 \cdot 4 = 0,88.$$

Ясно, что значениями этих членов, когда рассматривается растяжение резины, пренебрегать нельзя.

При сохранении для μ значения, равного 0,47, будем иметь при $\epsilon = 2$ следующее значение для объема V_2 :

$$V_2 = (1 + \epsilon)(1 - \mu\epsilon)^2 = 3 \cdot 0,06^2 = 0,0108,$$

что явно показывает неправильность определения объема V_2 при взятом значении $\mu = 0,47$.

В дополнении рассмотрим брусок прямоугольного или квадратного сечения, растягиваемый силой P . Длина бруска — l , а сторона квадратного сечения равна a (для упрощения выкладок принято квадратное сечение).

Для определения поперечных размеров бруска при растяжении, на основании вышеизложенного, должна служить следующая формула:

$$a_1 = a(1 - \mu\epsilon),$$

где a_1 — новая величина стороны поперечного сечения бруска после растяжения.

Действительно

$$\mu = \frac{\epsilon_{\text{сж}}}{\epsilon_{\text{раст}}},$$

откуда:

$$\mu\epsilon_{\text{раст}} = \epsilon_{\text{сж}} \quad \text{или} \quad \mu\epsilon_{\text{раст}} = \frac{\Delta a}{a}, \quad \text{где } \Delta a \text{ — абсолютное укорочение}$$

и, следовательно:

$$a_1 = a - \Delta a = a - \mu \varepsilon_{\text{раст}} \cdot a = a(1 - \mu \varepsilon_{\text{раст}}).$$

В справочниках, как указано выше, даны следующие значения для резины: предел пропорциональности $\sigma = 20 \text{ кг/см}^2$, модуль упругости $E = 10 \text{ кг/см}^2$, коэффициент поперечного сжатия $\mu = 0,47$.

По этим данным предел пропорциональности достигается при растяжении каучука в три раза (рис. 117), и участок OA представляет собой условную прямую.

При определении размеров поперечного сечения (примем квадратное сечение) будем иметь при $\varepsilon = 1$:

$$a_1 = a(1 - 0,47) = 0,53 a$$

и σ при этом будет равно 10 кг/см^2 ; при $\varepsilon = 2$:

$$a_1 = a(1 - 0,94) = 0,06 a \text{ и } \sigma = 20 \text{ кг/см}^2,$$

т. е. в этом случае размеры поперечного сечения должны быть настолько ничтожными, что даже при действительно наблюдаемом значительном сокращении поперечных сечений вызывают законное недоверие. Действительно, если сторона квадрата поперечного сечения каучукового (резинового) стержня равна 1 см , то, по приведенной выше зависимости, сторона квадрата при напряжении $\sigma = 20 \text{ кг/см}^2$ будет равна $0,6 \text{ мм}$, что маловероятно.

Уместно вспомнить, что следует всегда различать каучук от резины, так как механические свойства каучука и резины неодинаковы. Обычно конструктор имеет дело с резиной и все данные в справочниках для каучука относятся именно к резине.

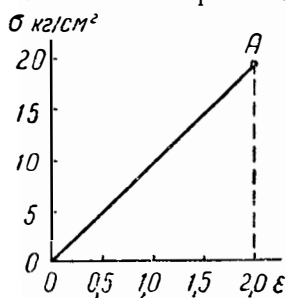


Рис. 117.

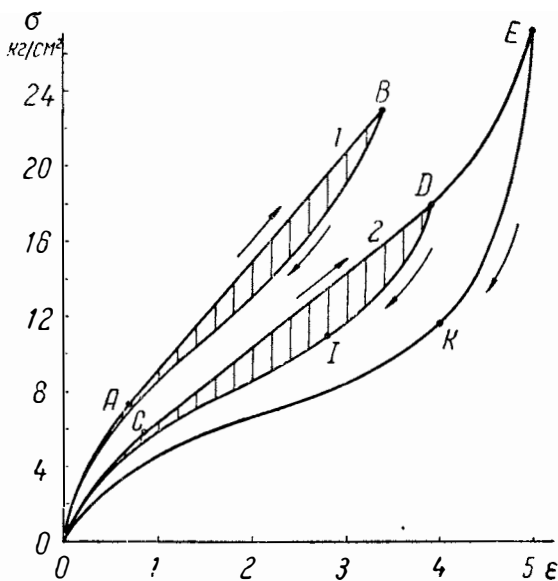


Рис. 118. Диаграммы растяжения амортизаторов.

Рассмотрим результаты исследований резиновых амортизаторов на растяжение. На рис. 118 представлены диаграммы растяжения двух амортизаторов с несколько различными упругими свойствами. В амортизаторе 1 на кривой растяжения наблюдается криволинейный участок OA , переходящий в почти прямой участок AB . При снятии нагрузок наблюдается гистерезисная петля, площадь которой незначительна. В амортизаторе 2 на кривой растяжения имеется также криволинейный участок

ОС и почти прямой участок CD. Если после точки D разгрузить амортизатор 2, то площадь гистерезисной петли получается несколько большей, чем для амортизатора 1. При растяжении амортизатора 2 за точку D участок диаграммы опять имеет криволинейный характер, но обращенный выпуклостью в обратную сторону, по сравнению с участком ОС. Если, начиная с точки E, начать разгружать амортизатор, то наблюдается уже значительный гистерезис, площадь которого в несколько раз превосходит площадь гистерезиса, полученную при разгрузке амортизатора после точки D. Точкам B и D практически и соответствует условное значение предела пропорциональности для рассматриваемых амортизаторов. При снятии нагрузок до нуля, несмотря на гистерезис,

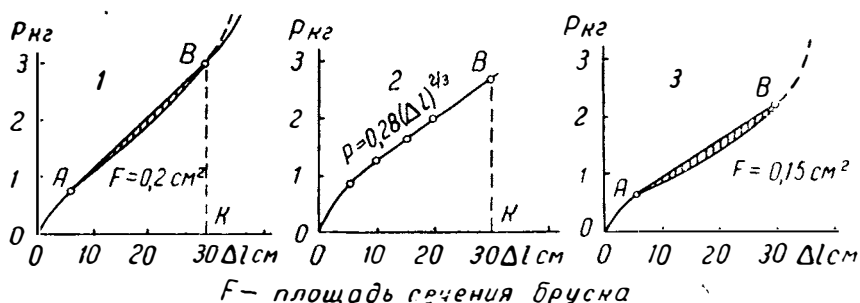


Рис. 119.

остаточное удлинение практически отсутствует. Растяжение амортизаторов выше точек B и D, одновременно с увеличением относительного удлинения, резко увеличивает величину гистерезиса при снятии нагрузок. При эксплуатации аэростатов с амортизационной резиновой системой главное значение имеет не работа растяжения, а потенциальная энергия, накопленная в амортизаторе при растяжении, которая может быть возвращена при выбирании аэростатов, т. е. при стягивании амортизаторов. В этом случае работа стягивания определяется площадью, ограниченной кривой разгрузки и осью удлинений, причем, естественно, по оси абсцисс должны быть отложены абсолютные удлинения Δl (рис. 119). Приведенные выше диаграммы показывают, что площади, определяющие работу стягивания, резко уменьшаются после перехода растяжения за точки B и D, что и решает вопрос о пределах растяжения амортизаторов в практике.

В качестве примера рассмотрим диаграммы растяжения резиновых шнуров с поперечным сечением $0,2 \text{ см}^2$ (рис. 119). Пусть точка B соответствует пределу пропорциональности, площадь гистерезиса незначительна. В этом случае, с некоторым допущением, работу растяжения или стягивания T можно определить по площади треугольника OBK :

$$T = \frac{P \cdot \Delta l}{2} = \frac{3 \cdot 30}{2} = 45 \text{ кг/см.}$$

Если расчетная часть шнура имела длину 10 см , то его объем — $0,2 \cdot 10 = 2 \text{ см}^3$, и энергия, которая может быть накоплена в 1 см^3 , будет равна:

$$45 : 2 = 22,5 \frac{\text{кг} \cdot \text{см}}{\text{см}^3}.$$

Кривая растяжения резины может быть выражена приближенно уравнением полукубической параболы, тогда зависимость P от Δl будет:

$$P = 0,28 (\Delta l)^{\frac{2}{3}}.$$

На рис. 119 (2) построена кривая по данному уравнению. Найдем площадь, ограниченную этой кривой, осью Δl и крайней ординатой BK .

$$\text{Работа } T = \int_0^{30} 0,28 (\Delta l)^{\frac{2}{3}} d(\Delta l) = \frac{0,28 \cdot 30^{\frac{5}{3}}}{\frac{5}{3}} \approx 48 \text{ кг} \cdot \text{см},$$

а работа, отнесенная к единице объема, будет:

$$\frac{T}{Fl} = \frac{48}{2} = 24 \frac{\text{кг} \cdot \text{см}}{\text{см}^3}.$$

При иной рецептуре, примененной для изготовления резиновых амортизаторов, очевидно, будем иметь несколько иные диаграммы растяжения.

Все приведенные диаграммы растяжения резиновых амортизаторов получены при температурах выше нуля. На рис. 120 приведены диаграммы растяжения резиновых амортизаторов при различных температурах.

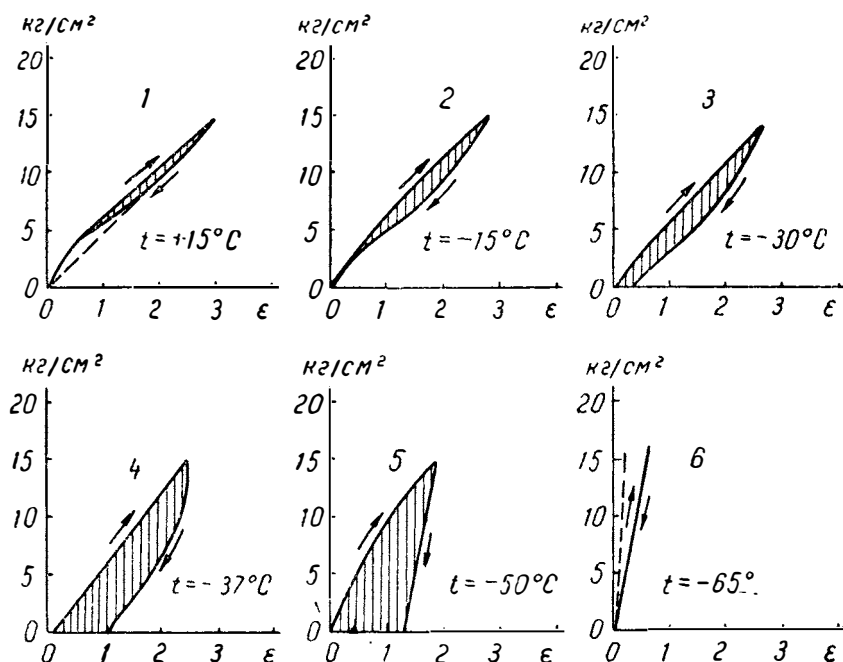


Рис. 120. Влияние низких температур на растяжение резиновых амортизаторов.

Диаграммы растяжения показывают, что с понижением температуры значительно увеличивается площадь гистерезиса, уменьшаются относительные удлинения при растяжении и резко возрастают остаточные деформации. При температуре -65° амортизаторы окончательно теряют

свои высокоэластические свойства и превращаются в своеобразный материал, подчиняющийся закону Гука. При температуре -30°C работа стягивания амортизаторов становится мало удовлетворительной, а при дальнейшем понижении температуры применение амортизаторов из натурального каучука, как стягивающей системы, следует считать нецелесообразным. Потенциальная энергия, которая может быть накоплена в 1 см^3 амортизатора из натурального каучука, с учетом только работы стягивания при различных температурах, может быть выражена, примерно следующими величинами.

Температура в $^{\circ}\text{C}$	Потенциальная энергия в $\frac{\text{кг см}}{\text{см}^3}$
+15	23
-15	20
-30	15
-37	10
-50	3
	1,5.

Рассмотрим значение модуля упругости для резиновых амортизаторов. Согласно вышеприведенным диаграммам (напр. рис. 118 [2]), значение модуля упругости равно 5 кг/см^2 при условии, что процесс растяжения амортизатора рассматривается по прямой OD , где точке D соответствует предел пропорциональности. В амортизаторах более жестких модуль упругости будет несколько выше, достигая значений порядка $7-8\text{ кг/см}^2$.

Обычно выбирают значение модуля, соответствующее наклону кривой между точками A и B , что составляет $4,5-5\text{ кг/см}^2$. Зная предел пропорциональности σ и соответствующий модуль упругости E , можно определить значение потенциальной энергии по обычной формуле:

$$\frac{T}{Fl} = \frac{\sigma^2}{2E} \frac{\text{кг} \cdot \text{см}}{\text{см}^3}.$$

Все приведенные выше диаграммы отнесены к первоначальному сечению амортизаторов. В действительности, в отличие от всех других материалов, поперечное сечение резиновых амортизаторов резко сокращается при растяжении.

Рассмотрим для примера результаты испытаний резиновых амортизаторов квадратного сечения $4 \times 4\text{ мм}$, средние данные которых приведены в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Относительное удлинение ϵ	Длина стороны квадрата при растяжении $a_1\text{ мм}$	Абсолютное укорочение $a-a_1\text{ мм}$	Относительное укорочение $\frac{a-a_1}{a}$
0	4	0	0
0,5	3,1	0,9	0,225
1,0	2,9	1,1	0,28
2,0	2,4	1,6	0,40
3,0	1,92	2,08	0,52

Зависимость относительных укорочений поперечных размеров резинового бруска от его относительных удлинений представлена на рис. 121. Относительное укорочение

$$\epsilon_{ук} = \frac{a - a_1}{a} = \mu \epsilon_{раст},$$

откуда

$$\mu = \frac{a - a_1}{a} : \epsilon_{раст}.$$

Составим таблицу:

Если по этой таблице построить графическую зависимость, то получим диаграмму, приведенную на рис. 122.

Пунктирная кривая на этом же рисунке построена по следующей зависимости μ от ϵ :

$$\mu = 0,17 \epsilon^{-1} + 0,1.$$

Приведенные выше результаты исследований растяжения амортизаторов из натурального каучука, применяемых для аэростатов, показы-

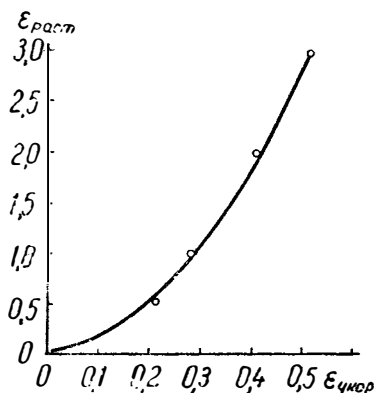


Рис. 121.

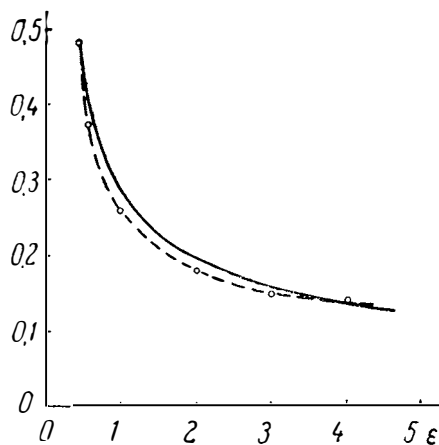


Рис. 122.

вают, что при расчетах амортизаторов целесообразно использовать следующие значения основных величин: предел пропорциональности — 15—18 кг/см²; модуль упругости — 4—7 кг/см²; коэффициент поперечного сжатия — 0,13—0,45 (в зависимости от относительного удлинения ϵ).

Глава IV

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОСТАТНЫХ И ПАРАШЮТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

17. Испытание тканей на воздухопроницаемость

Воздухопроницаемость тканей, применяемых для изготовления куполов парашютов, имеет весьма существенное значение.

Количество воздуха U , прошедшее через сечение S за время t при скорости истечения V , равно:

$$U = V \cdot S \cdot t,$$

где V — функция избыточного давления воздуха, т. е.

$$V = f(p).$$

Советские ученые Федяевский, Блохинцев, Ушаков в своих работах показали, что приведенная зависимость, в общем случае, имеет довольно сложный характер.

Энергия сжатого воздуха при прохождении через ткань затрачивается и на работу трения воздуха и на работу против сил инерции воздуха, т. е. на работу ускорения воздуха в порах ткани. Когда ткань представляет редкую решетку, то энергия сжатого воздуха затрачивается, главным образом, на преодоление сил инерции воздуха и зависимость скорости истечения приближается к виду:

$$V^2 = cp,$$

где c — коэффициент.

Для плотной ткани главное значение имеет преодоление сил трения, и зависимость скорости истечения от давления может быть выражена в следующем виде:

$$V = cp.$$

В общем случае

$$V^m = cp,$$

где

$$1 \angle m \angle 2.$$

В практике исследования воздухопроницаемости различных тканей применяют понятие «удельной проницаемости» или «коэффициента проницаемости», подразумевая под последним объем воздуха, проходящий через единицу поверхности ткани за единицу времени при определенном перепаде давления.

Скорость истечения не является линейной функцией перепада (избыточного) давления, но при одинаковом давлении различные ткани могут быть сравниваемы между собой по их коэффициентам воздухопроницаемости.

Для парашютных тканей обычно выражают величину коэффициента воздухопроницаемости в литрах воздуха с квадратного метра в секунду при перепаде давления в 5 мм водяного столба.

Отдельные ткани характеризуются различными значениями коэффициента воздухопроницаемости, зависящего от типа волокна, конструкции ткани, номера пряжи, крутки пряжи или нити, предварительной специальной обработки нитей или ткани. Выбор тканей, предназначенных для изготовления куполов парашютов, с точки зрения коэффициентов воздухопроницаемости должен способствовать безотказному действию парашюта при эксплуатации как в момент раскрытия парашюта, так и в периоды спуска и приземления.

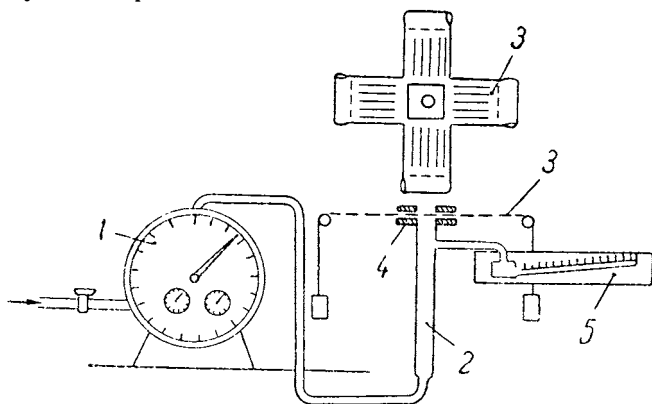


Рис. 123. Схема установки для испытания воздухопроницаемости тканей.

Коэффициент воздухопроницаемости зависит от температуры, влажности ткани и напряжения, возникающего в ткани.

В методике испытания тканей на воздухопроницаемость должны быть предусмотрены:

- 1) определение количества воздуха, прошедшего через выбранную площадь ткани в заданное время;
- 2) определение перепада давления при испытании;
- 3) определение напряжения в ткани при соответствующем перепаде давления;
- 4) определение относительных удлинений ткани при соответствующих напряжениях.

Различные установки для испытаний на воздухопроницаемость тканей позволяют решать или все перечисленные вопросы одновременно или же некоторые из них.

На рис. 123 приведена одна из схем установки для испытания тканей на воздухопроницаемость.

Воздух поступает из газодувки через регулятор давления и газовые часы 1 в трубу 2, торец которой замыкается испытываемой тканью 3. Ткань зажимается между металлическими фланцами 4 с кольцами из мягкой прокладочной резины. Площадь ткани, ограниченная внутренней окружностью фланцев, равна 5 см². Образец ткани изготавливается в виде

креста 3, в котором при помощи грузов могут быть созданы любые комбинации напряжений по основе и утку.

Деформации ткани при соответствующих напряжениях определяются путем измерения нанесенной на ткань сетки.

Воздухопроницаемость определяется путем замера количества воздуха, проходящего через образец, с помощью газовых часов с одновременным учетом избыточного давления по микроманометру 5. Описанная установка позволяет производить определение коэффициентов воздухопроницаемости при различных комбинациях перепада давления и растяжения ткани.

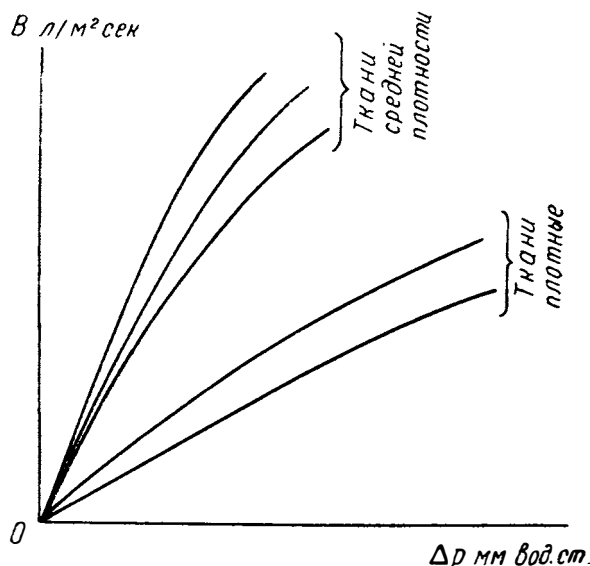


Рис. 124.

Существуют также и другие схемы установок для определения коэффициента воздухопроницаемости, различающиеся методом замера объема прошедшего через ткань воздуха. Например, определение объема воздуха, проходящего через ткань, может быть произведено по объему воды, вытесняемой воздухом.

На рис. 124 приведена примерная форма зависимости воздухопроницаемости тканей от перепада давления. Диаграмма показывает, что повышение перепада давления воздуха сопровождается увеличением воздухопроницаемости ткани, причем это увеличение для различных тканей неодинаково. Зависимость воздухопроницаемости от перепада давления воздуха не является прямолинейной, причем, чем меньше воздухопроницаемость ткани, тем эта зависимость ближе к прямолинейной.

С ростом напряжений в хлопчатобумажной ткани, при одном и том же перепаде давления, увеличивается и значение воздухопроницаемости. На рис. 125 показан характер этого изменения. Если хлопчатобумажную ткань подвергнуть повторному испытанию на воздухопроницаемость, то величина последней получается на 15—25% больше, чем до первого нагружения (пунктирные линии на рис. 125). Увеличение воздухопроницаемости объясняется остаточной деформацией ткани после первого нагружения.

В шелковой ткани вначале с ростом напряжений при одном и том же перепаде давления наблюдается уменьшение величины воздухопроницаемости. При дальнейшем увеличении напряжения воздухопроницаемость ткани несколько возрастает. При повторном испытании шелковой ткани величина воздухопроницаемости получается меньше, чем при первом нагружении (пунктирные линии на рис. 126), но в этом случае с ростом напряжения в ткани наблюдается непрерывный рост значения воздухопроницаемости. Уменьшение величины воздухопроницаемости при первом нагружении объясняется тем, что шелковые нити, составляющие

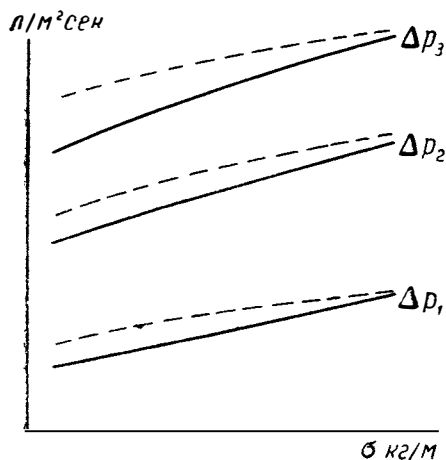


Рис. 125.

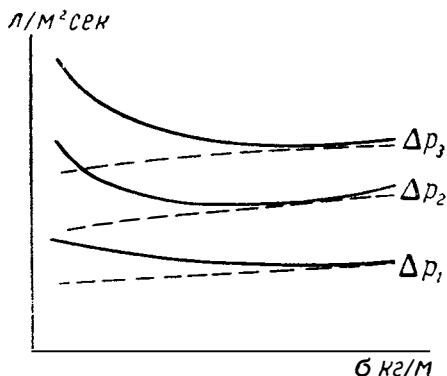


Рис. 126.

ткань, несколько расплываются при натяжении, в результате чего уменьшаются отверстия между нитями. При повторном испытании воздух проходит уже через деформированную ткань и уменьшения воздухопроницаемости не наблюдается.

В капроновой ткани с ростом напряжений растет и величина воздухопроницаемости; повторные испытания дают те же значения, что и в первом случае.

Изменение температуры оказывает сравнительно малое влияние на величину воздухопроницаемости и практически не принимается во внимание. С повышением температуры наблюдается постепенное увеличение воздухопроницаемости тканей.

Увлажнение ткани оказывает сильное влияние на величину воздухопроницаемости для хлопчатобумажных и шелковых тканей. Для воздуха, насыщенного водяными парами, или при непосредственном намочении ткани величина воздухопроницаемости может уменьшиться в несколько раз. Увлажнение капроновой ткани почти не сказывается на величине ее воздухопроницаемости.

18. Исследование проницаемости баллоновых материй

Одним из важных испытаний воздухоплавательных материалов является определение газопроницаемости баллонной материи.

Баллонная материя содержит между слоями ткани пленку, так называемый газодержащий слой, через который и диффундируют молекулы газа.

Под газопроницаемостью баллонной материи подразумевают способность материи пропускать газ, имеющий различное парциальное давление по обе стороны материи, в направлении от большого парциального давления к меньшему.

В воздухоплавании принято выражать величину газопроницаемости в литрах газа, прошедшего через квадратный метр баллонной материи за сутки при 15°C . При этом перепад парциального давления газа принимается равным 760 мм ртутного столба, а избыточное давление газа — в 10 мм водяного столба.

Процесс проникновения газа через пленку баллонной материи рассматривается как физический процесс, протекающий в несколько независимых друг от друга последовательных стадий. Рассмотрим сущность этого процесса. Пусть по одну сторону пленки, толщиной l (рис. 127), находится газ с парциальным давлением p_1 . По другую сторону пленки находится тот же газ, но с парциальным давлением p_2 , причем $p_1 > p_2$.

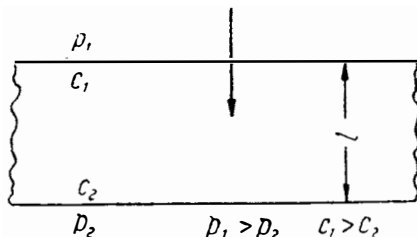


Рис. 127.

Газ растворяется в пограничном слое вещества пленки, причем это растворение газа протекает согласно закону Генри, так как количество газа прямо пропорционально парциальному давлению газа:

$$c_1 = \sigma p_1 \text{ и } c_2 = \sigma p_2,$$

где c — концентрация газа в пограничном слое;

σ — коэффициент растворимости газа, измеряемый в см^3 газа, растворенного в 1 см^3 вещества пленки при давлении в 760 мм рт. ст.

При наличии разности концентраций растворенного газа или так называемого концентрационного градиента в пленке возникает процесс движения частиц растворенного газа от области высокой концентрации к области с малой концентрацией газа. Этот процесс носит название диффузии газа.

Причиной диффузии является тепловое движение частиц растворенного газа. Скорости молекул различных газов, как и размеры молекул, неодинаковы. В таблице 8 приводятся эти величины.

Когда парциальные давления газа p_1 и p_2 , а следовательно, и концентрации газа c_1 и c_2 сохраняют постоянное значение, то количество газа q , прошедшее за время t через пленку толщиной l и площадью S , может быть определено, исходя из первого закона диффузии:

$$q = D \frac{c_1 - c_2}{l} \cdot S \cdot t,$$

где D — коэффициент диффузии, имеющий размерность $\text{см}^2/\text{сек}$.

Заменяя в последнем выражении c через σp , получим

$$q = D \sigma \frac{p_1 - p_2}{l} \cdot S \cdot t.$$

Это выражение характеризует лишь установившийся поток диффундирующего газа, в связи с чем оно неприменимо в начальный период диффузии газа в пленке.

Таблица 8

Г а з	При 0° и при давлении в 1 атм.				
	средняя скорость молекул (м/сек)	средняя квадратич- ная ско- рость моле- кул (м/сек)	средний свободный пробег молекул (см)	продолжи- тельность свободного пробега (сек)	диаметр молекул (см)
Водород	1692	1840	11,2.10 ⁻⁶	0,66.10 ⁻¹⁰	2,3.10 ⁻⁸
Гелий	1204	1305	18.10 ⁻⁶	1,47.10 ⁻¹⁰	1,9.10 ⁻⁸
Кислород	425	461	6,5.10 ⁻⁶	1,52.10 ⁻¹⁰	2,9.10 ⁻⁸
Азот	454	493	6,0.10 ⁻⁶	1,32.10 ⁻¹⁰	3,1.10 ⁻⁸
Окись углерода . .	454	493	5,8.10 ⁻⁶	1,28.10 ⁻¹⁰	3,2.10 ⁻⁸
Углекислый газ . .	362	393	4.10 ⁻⁶	1,10.10 ⁻¹⁰	3,2.10 ⁻⁸
Пары воды	566	615	4.10 ⁻⁶	0,71.10 ⁻¹⁰	2,6.10 ⁻⁸

Произведение $D\sigma$ называется коэффициентом проницаемости:

$$P = D\sigma.$$

Коэффициент проницаемости характеризуется количеством газа, прошедшего через единицу поверхности пленки за единицу времени при перепаде давлений, принятом за единицу

$$P = \frac{ql}{(p_1 - p_2) st}.$$

Коэффициент проницаемости здесь выражен в $\text{см}^3 \text{ газа} / \text{см}^2 \text{ сек}$ при толщине пленки в 1 см и при перепаде давления в 760 мм рт. ст. Но при изучении проницаемости баллонной материи надо иметь в виду, что толщина газодержащей пленки в материи не пропорциональна толщине самой баллонной материи, поэтому газопроницаемость баллонной материи относится не к единице толщины пленки, а к данной толщине баллонной материи, принимаемой за единицу. Вышеприведенная зависимость позволяет решать практические задачи по определению количества газа, прошедшего через оболочку. Например, если водородопроницаемость баллонной материи равна 10 $\text{л} / \text{м}^2$ за сутки, то потеря газа через оболочку, имеющую поверхность в 300 м^2 , при чистоте водорода в 90% за 6 часов составит, согласно последней формуле:

$$10 = \frac{q \cdot 1}{(1 \cdot 0,9 - 0) \cdot 300 \cdot \frac{6}{24}},$$

откуда $q = 675$ литров при заданных условиях.

Согласно рассмотренной выше схеме, процесс проницаемости при стационарном состоянии протекает в три стадии, последовательно и непрерывно следующих одна за другой:

- 1) растворение газа в поверхностном слое пленки;
- 2) диффузия растворенного газа в пленке;
- 3) выделение газа из поверхностного слоя обратной стороны пленки.

Закон диффузии не позволяет непосредственно судить о самом механизме процесса прохождения частиц газа в пленке. Для выяснения этого механизма рассмотрим влияние температуры на величину проницаемости.

Опыт показывает, что проницаемость быстро возрастает с повышением температуры.

При изучении в отдельности температурной зависимости коэффициентов диффузии и растворимости было выяснено, что растворимость постоянных газов в веществе пленки мало изменяется с повышением температуры. Следовательно, увеличение газопроницаемости с повышением температуры в основном определяется температурной зависимостью коэффициента диффузии газа. Движение частиц растворенного газа, в случае активированной диффузии, тесно связано с энергией теплового колебания частиц вещества пленки. Советским ученым С. А. Рейтлингером выполнен ряд исследований в области газопроницаемости высокомолекулярных соединений, в частности изучено влияние структуры на газопроницаемость пленок полимеров.

Механизм диффузии газов через пленки высокомолекулярных соединений может быть представлен следующим образом.

Молекулы газа передвигаются отдельными импульсами через отверстия «дырки» которые образуются и исчезают в непосредственном соседстве с молекулами растворенного в полимере (пленке) газа. Эти отверстия «дырки» появляются в результате флуктуаций при тепловом движении сегментов молекул полимера. Энергия активации расходуется на разделение цепей полимера, которые связаны друг с другом силами Ван-дер-Ваальса на расстояние, достаточное для того, чтобы позволить молекуле газа переместиться и занять новое место «дырку». При этом энергия активации превращается в кинетическую энергию молекул газа и частично — в кинетическую энергию молекул полимера. Число новых мест «дырок» быстро возрастает с повышением температуры, чем и объясняется высокий температурный коэффициент газопроницаемости пленок.

Т а б л и ц а 9

Г а з	Молекуляр- ный вес	Относительные значения коэффициентов		
		<i>P</i>	<i>D</i>	σ
Водород	2	1	1	1
Гелий	4	0,67	0,76	0,90
Азот	28	0,19	0,20	0,85
Кислород	32	0,47	0,24	2,30
Углекислота	44	2,76	0,10	27,6
Закись азота	46	4,53	0,11	41,18

В таблице 9 приведены относительные значения коэффициентов проницаемости, диффузии и растворимости газов для резиновой пленки из натурального каучука, причем эти значения для водорода приняты за единицу.

С ростом молекулярного веса газа, по данным, приведенным в таблице, коэффициент диффузии уменьшается, а коэффициент растворимости возрастает. В связи с тем, что увеличение молекулярного веса газа оказывает более сильное влияние на увеличение коэффициента растворимости, чем на уменьшение коэффициента диффузии, в конечном итоге изменение величин газопроницаемости определяется изменением растворимости газов в веществе пленки. Исключение составляют водород и гелий, для которых непропорционально высокое значение проницаемости определяется повышенными значениями коэффициентов диффузии.

В случае наличия в баллонных материях мелких отверстий, процесс прохождения газа через такие материи следует рассматривать, как процесс проникновения газа через микрокапилляры или отверстия в пленке. В этом случае

$$\frac{c_1}{c_2} = \sqrt{\frac{\frac{3pv}{M_1}}{\frac{3pv}{M_2}}} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}},$$

где $\frac{M}{v}$ — плотность газа;

c_1 и c_2 — средние квадратичные скорости молекул газов;

p и v — давление и объем газов;

M_1 и M_2 — молекулярный вес газов;

ρ_1 и ρ_2 — массовые плотности газов.

По этому закону следует, что при постоянном давлении и температуре средние скорости молекул газов обратно пропорциональны квадратным корням из их плотностей.

а) Влияние на газопроницаемость различных факторов

Влияние давления. Парциальное давление газа оказывает существенное влияние на газопроницаемость пленки. На рис. 128 представлена зависимость газопроницаемости баллонных материй от парциального давления газа.

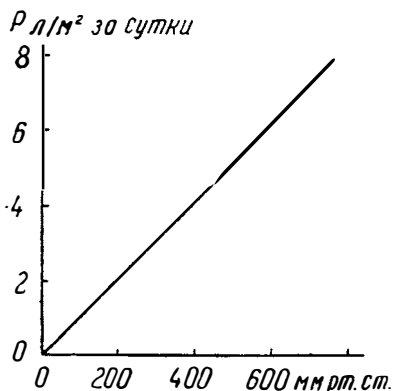


Рис. 128.

Эта зависимость носит прямолинейный характер, что вполне соответствует закону диффузии. Поправка в величину газопроницаемости баллонной материи вносится, исходя из данных о чистоте и барометрическом давлении газа. При практических определениях газопроницаемости баллонных материй обычно поправку на чистоту газа и барометрическое давление газа не учитывают.

Влияние толщины резиновой пленки. Газопроницаемость баллонной материи зависит также от толщины газодержащего резинового слоя. Вместо толщины пленки обычно рассматривается вес пленки, приходящийся на 1 м² материи. Результаты исследования хлопчатобумажной прорезиненной баллонной

материи с различным весом газодержащего резинового слоя приведены на рис. 129.

График, приведенный на рис. 129, показывает, что для баллонной прорезиненной материи достаточной величиной веса газодержащего резинового слоя является вес порядка 100 г/м^2 . Дальнейшее увеличение веса резинового слоя мало понижает значение газопроницаемости, уменьшение этого веса значительно увеличивает величину проницаемости. Газопроницаемость одной резиновой пленки без ткани будет при том же весе, что и вес резинового слоя в баллонной материи, больше, чем величина газопроницаемости баллонной материи (пунктирная кривая). Объясняется это тем, что в баллонной материи, кроме пленки, имеется ткань, изготавливаемая из волокон целлюлозы, проницаемость которой весьма мала по сравнению с резиной.

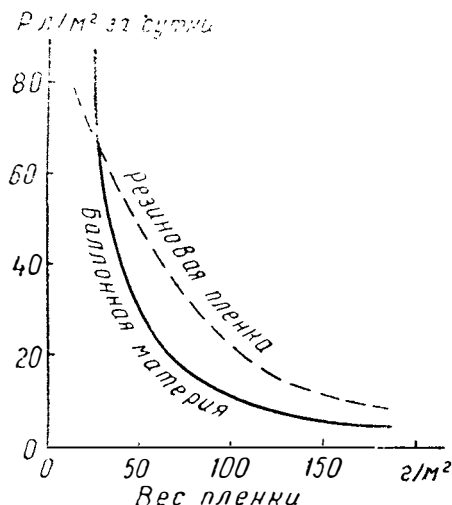


Рис. 129.

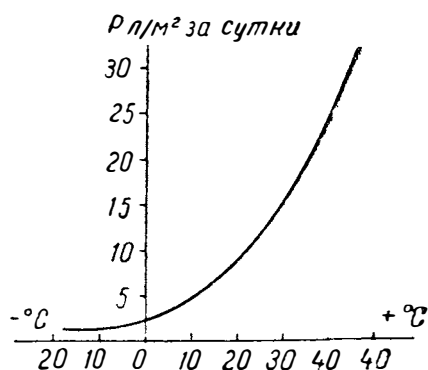


Рис. 130.

Влияние природы пленкообразователя. В пленках полимеров молекулярные цепи образуют сильно переплетенные запутанные структуры, напоминающие по своей структуре войлок. Если по длине цепи атомы, входящие в состав линейной молекулы полимера, связаны друг с другом силами валентности, то взаимодействие цепей между собой у линейных полимеров осуществляется лишь благодаря наличию межмолекулярных сил. Как известно, межмолекулярные силы значительно меньше валентных сил, действующих между атомами в цепи. Величина газопроницаемости высокополимерного соединения зависит от его внутренней молекулярной структуры. Газопроницаемость резко уменьшается с ростом энергии межмолекулярных сил и с увеличением мест соприкосновения молекул друг с другом. Пленки соединений, характеризующиеся наличием валентных связей между молекулами (пространственные структуры типа эбонита или бакелита) или имеющие большое количество полярных групп (например OH , COOH , NH_2) в молекуле (целлофан, перфоль), имеют весьма малую проницаемость.

Влияние температуры на газопроницаемость. Газопроницаемость баллонных материй в сильной степени зависит от температуры газодержащего слоя. Многочисленные исследования зависимости газопроницаемости резиновых пленок от температуры показали, что увеличение проницаемости с возрастанием температуры подчиняется правилу сложных процентов. На рис. 130 приведена зависимость

изменения проницаемости резиновой пленки от температуры. Изучение этой зависимости приводит к выводу, что при изменении температуры на 1°C газопроницаемость изменяется на 4,5—5%.

С. А. Рейтлингер в своих исследованиях показал, что, независимо от природы газа и пленкообразователя, температурная зависимость газопроницаемости пленок и баллонных материй может быть выражена уравнением вида:

$$P = P_0 e^{-\frac{E}{RT}},$$

где P — проницаемость пленки или баллонной материи при температуре T ;

P_0 — постоянная величина, характеризующая свойства материала пленки;

R — универсальная газовая постоянная;

T — абсолютная температура;

E — энергия активации проницаемости.

В таблице 10 приведены значения E для водородопроницаемости пленок.

Т а б л и ц а 10

Наименование пленкообразователя	E кал/моль
Натуральный каучук	6400
Бутадиеновый каучук	6600
Полихлоропрен	8160
Ацетилцеллюлоза	6270
Желатин	7680

Значения E , как показывает таблица, для натурального и синтетического каучуков очень близки друг к другу, в связи с чем величину E в вышеприведенной формуле можно принять за постоянную величину. В этом случае все величины в правой части являются постоянными, кроме температуры T , и значение проницаемости P зависит только от температуры.

Кривая, приведенная на рис. 130, показывает, что изменение значения газопроницаемости от температуры идет приблизительно по закону сложных процентов. Если принять изменение величины газопроницаемости в 5% на 1°C, то по формуле для сложных процентов можем написать:

$$P_t = P_{15} \cdot e^{\frac{5}{100}(t-15)} = P_{15} e^{\frac{\Delta t}{20}},$$

где P_t — газопроницаемость баллонной материи при температуре t ;

P_{15} — газопроницаемость той же материи при температуре +15°C;

Δt — разность температур между наблюдаемой и 15°C, может быть положительной или отрицательной величиной.

При испытаниях на газопроницаемость оболочек (баллонных материй) полученные значения газопроницаемости при наблюдаемой темпе-

ратуре приводятся к значениям газопроницаемости при температуре $+15^{\circ}\text{C}$. Тогда из вышеприведенной формулы будем иметь:

$$P_{15} = \frac{P_t}{e^{\frac{\Delta t}{20}}}.$$

Обозначая $\frac{1}{e^{\frac{\Delta t}{20}}}$ через k , получим:

$$P_{15} = k \cdot P_t.$$

Коэффициент k может быть заранее вычислен при различных температурах по формуле

$$P_t = P_0 e^{-\frac{E}{RT}}$$

Результаты этих вычислений приведены в таблице 11.

Т а б л и ц а 11

Температура в $^{\circ}\text{C}$	k	Температура в $^{\circ}\text{C}$	k	Температура в $^{\circ}\text{C}$	k
14	3,58	+1	1,79	16	0,96
13	3,41	2	1,71	17	0,92
12	3,25	3	1,64	18	0,88
11	3,10	4	1,57	19	0,85
10	2,95	5	1,51	20	0,82
9	2,81	6	1,44	21	0,79
8	2,68	7	1,38	22	0,76
7	2,56	8	1,32	23	0,73
6	2,45	9	1,27	24	0,70
5	2,34	10	1,22	25	0,68
4	2,24	11	1,17	26	0,65
3	2,14	12	1,13	27	0,63
2	2,05	13	1,08	28	0,61
-1	1,96	14	1,04	29	0,58
0	1,87	15	1,00	30	0,56

При большом числе определений водородопроницаемости для приведения полученных значений к температуре в $+15^{\circ}\text{C}$ следует пользоваться номограммой, изображенной на рис. 131.

Определенное при данной температуре значение газопроницаемости находится в левой вертикальной шкале номограммы. По средней наклонной шкале отсчитывается показание термометра, записанное при определении газопроницаемости. Соединяя прямой линией (при помощи линейки) точки, отвечающие найденным значениям газопроницаемости и температуры, и продолжая эту линию до пересечения с правой вертикальной шкалой номограммы, находят в точке пересечения величину газопроницаемости, приведенную к 15°C .

Для ознакомления с использованием номограммы рассмотрим следующий пример: пусть испытание на газопроницаемость оболочки дало значение 45 л/м^2 в сутки, температура при испытании $+20^{\circ}\text{C}$. Соединяя линейкой значение 45 л/м^2 в сутки (левая вертикальная шкала номограммы) со значением по наклонной шкале температуры в $+20^{\circ}\text{C}$, можно прочесть на правой шкале номограммы значение газопроницаемости, приведенной к температуре $+15^{\circ}\text{C}$.

В данном примере значения газопроницаемости, приведенные по номограмме к 15°C , составят 36 л/м^2 в сутки.

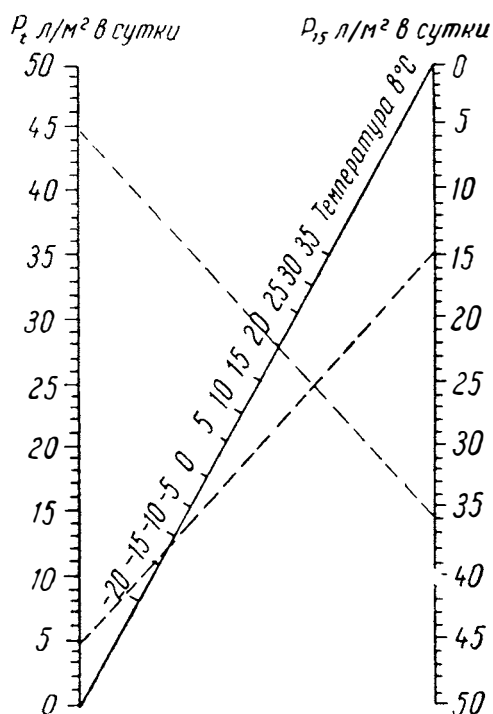


Рис. 131.

. Если обратиться к таблице 11, то значение газопроницаемости, приведенной к температуре $+15^{\circ}\text{C}$, будет равно:

$$45 \cdot 0,82 = 36,9 \text{ л/м}^2 \text{ в сутки при } 15^{\circ}\text{C}.$$

Влияние влажности. Увлажнение баллонной материи приводит к понижению ее газопроницаемости. Исследованию этого вопроса посвящено сравнительно мало работ. На рис. 132 приведены результаты испытаний водородопроницаемости образцов баллонных материй, после пребывания их в атмосфере влажного воздуха в течение 12 и 50 часов. При высокой относительной влажности воздуха, приближающейся к полному насыщению воздуха водяными парами, на поверхности баллонной материи образуется тонкая водяная пленка, создающая дополнительное сопротивление потоку диффундирующего газа. В баллонных материях с большим значением проницаемости увлажнение в значительной степени понижает величину проницаемости (до 50%). В этом случае мел-

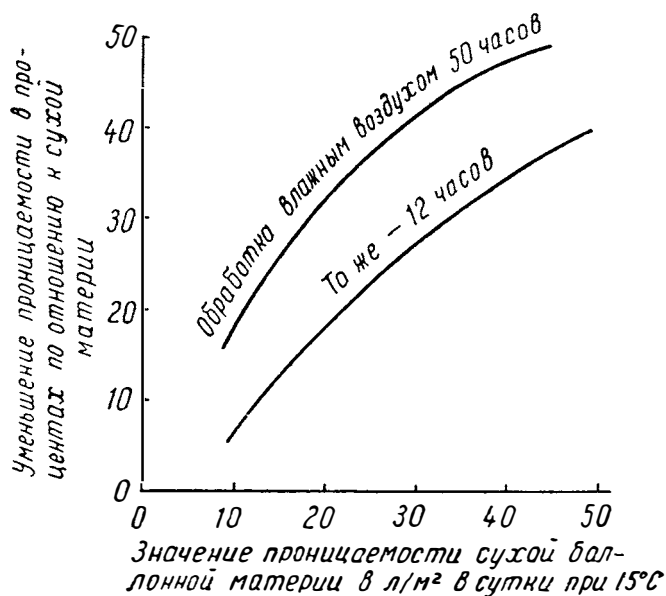


Рис. 132.

кие капиллярные отверстия и трещинки в пленке заполняются водой, уменьшающей тем самым величину проницаемости баллонной материи.

Практически смачивание водой баллонной материи, обладающей значительной проницаемостью, может дать лишь временный эффект снижения проницаемости, исчезающий по мере высыхания оболочки. Смачивание водой оболочек аэростатов имеет вместе с тем и другое практически важное значение в сухое время года при малой относительной влажности воздуха, когда на оболочках могут быть заряды статического электричества. В этом случае смачивание оболочек увеличивает их электропроводность и значительно уменьшает опасность возгорания оболочек, наполненных водородом, при выдавливании газа.

б) Испытание баллонных материй на газопроницаемость

Методы испытания баллонных материй на газопроницаемость основаны на определении количества газа, прошедшего через определенную поверхность материи в заданное время.

Количество газа, прошедшего через материю, может быть определено путем взвешивания, измерения объема или давления газа, с помощью физических (по изменению показателя преломления, теплопроводности и т. д.) и химических (сжигание) методов.

Метод взвешивания газа. Метод определения газопроницаемости материй путем взвешивания замкнутого образцом материи сосуда с газом имел большое распространение в особенности при проведении заводских испытаний (весы завода «Красный Треугольник»).

На рис. 133 показана схема установки для определения газопроницаемости по данному методу.

На одной из чашек весов помещается металлический цилиндр, герметически закрытый сверху образцом испытываемой баллонной материи. Цилиндр наполняется водородом и весы уравниваются. Через сутки, вследствие диффузии водорода через баллонную материю, равновесие весов окажется нарушенным. Величина отклонения от состояния равновесия учитывается по специально градуированной шкале весов. Зная поверхность образца материи и изменение веса за сутки, можно вычислить газопроницаемость баллонной материи. Определение газопроницаемости по данному методу весьма неточно и требует много времени и труда, в связи с чем в настоящее время этот метод в Советском Союзе не применяется.

Оптический метод. Оптический метод определения газопроницаемости баллонных материй основан на измерении показателя преломления газовой смеси в зависимости от соотношения газов. Метод характеризуется большой степенью точности, в связи с чем применяется для проверки показаний других приборов путем проведения сравнительных испытаний образцов баллонной материи.

Для испытания газопроницаемости оптическим методом применяется газовый интерферометр, схема которого показана на рис. 134.

Анализируемый газ проходит по камере 1, длиной в 1 м и поперечным сечением в 1 см². Контрольный газ, в качестве которого исполь-

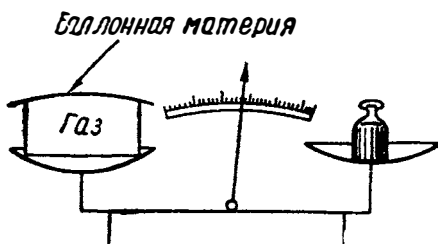


Рис. 133.

зается воздух, проходит по камере 2. Камеры освещаются при помощи лампочки 3, свет которой регулируется щелью 4. Лучи света, проходящие через камеры, попадают в компенсатор, имеющий подвижную 5 и неподвижную пластинки 6. Угол наклона подвижной пластинки меняется при помощи микрометрического винта 7 с делениями. Спектры рассматриваются в окуляр 8. Спектр лучей, проходящих через воздушную камеру, служит постоянным ориентиром для полос интерференции, получаемых в камере с газовой смесью.

Вращая микрометрический винт 7, можно добиться совмещения спектра интерференции лучей, проходящих через камеры с различными по составу газами, со спектром лучей, проходящих через воздушные камеры.

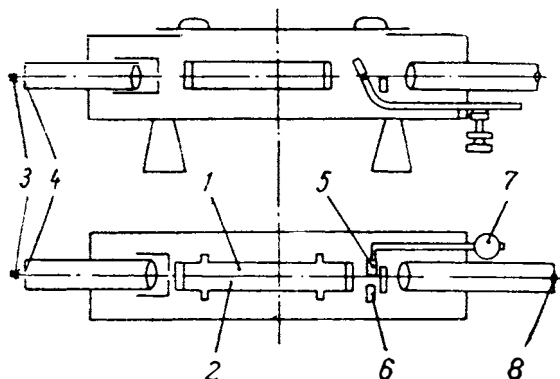


Рис. 134. Схема установки с интерферометрами.

Отклонение барабана микрометрического винта прямо пропорционально изменению показателя преломления и, следовательно, концентрации одного из компонентов газовой смеси.

Предварительно, перед началом работы, интерферометр должен быть проградуирован, для чего необходимо найти значение μ — разности преломляющих способностей газа, соответствующей повороту барабана микрометрического винта на одно деление шкалы. Величина коэффициента μ может быть найдена, исходя из зависимости между преломляющей способностью газа и разностью давлений газа в камерах прибора.

Точное определение газопроницаемости той или иной баллонной материи производится на установках с одним или двумя интерферометрами. Очень часто приходится решать задачу не только о величине газопроницаемости баллонной материи, но и об одновременной проницаемости воздуха внутрь оболочки через ту же самую баллонную материю. Последняя задача может быть решена постановкой исследований с двумя интерферометрами, схема установки которых приводится на рис. 135.

Прибор для определения проницаемости состоит из двух латунных дисков 1, между которыми зажимается образец баллонной материи. Постоянство температуры во время испытания достигается погружением прибора в водяной термостат 4. Для определения концентрации водорода в воздухе служит интерферометр 2 и воздуха в водороде — интерферометр 3. Скорости потоков водорода и воздуха устанавливаются соответственно по газовым часам 5 и 6 и реометрам 7 и 8.

При постоянных скоростях газов, проходящих вдоль поверхности образца материи, укрепленного между латунными дисками, через небольшой промежуток времени, необходимый для заполнения аппаратуры га-

зовой смесью, соотношение между двумя диффундирующими газами становится постоянным.

Зная концентрацию газа, площадь образца и время испытания, можно определить и величину проницаемости баллонной материи. Вели-

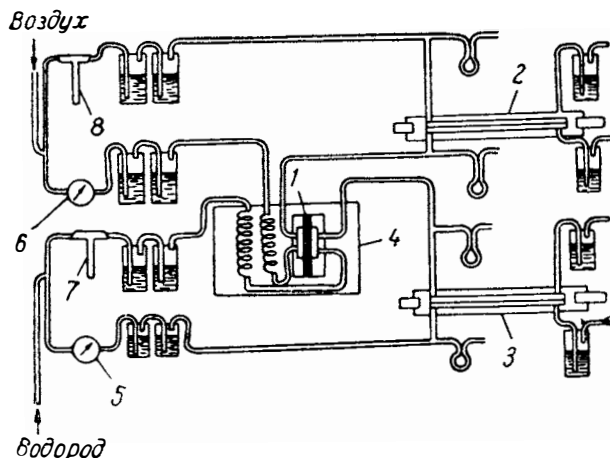


Рис. 135.

чина водородопроницаемости прорезиненной баллонной материи может быть вычислена по формуле:

$$P = \frac{0,24}{S} \cdot \frac{k_1}{k_2 - k_1} \left[k_2 \frac{\Delta V_1}{\Delta t} - (100 - k_2) \frac{\Delta V_2}{\Delta t} \right],$$

где P — водородопроницаемость материи в л/м² за сутки;
 S — площадь образца в м²;

$\frac{\Delta V_1}{\Delta t}$ — скорость потока водорода в л/час;

$\frac{\Delta V_2}{\Delta t}$ — скорость потока воздуха в л/час;

k_1 — концентрация водорода в воздухе в %;

k_2 — чистота водорода в %.

$$k_1 = 182 \cdot 10^4 \frac{\mu n T}{p}$$

(при условии, что давление газа в обеих камерах интерферометра одинаково).

μ — коэффициент прибора;

n — число делений на барабане микрометрического винта;

T — абсолютная температура;

p — давление газа в мм рт. ст.

Величина k_2 может быть определена из величины k_1 , если учесть, что скорости проницаемости водорода и воздуха через прорезиненную баллонную материю относятся как 4,1 : 1

$$k_2 = 100 - \frac{k_1 \frac{\Delta V_1}{\Delta t}}{4,1 \frac{\Delta V_2}{\Delta t}}$$

или вычислена по формуле, аналогичной для определения k_1 , из результатов, полученных на втором интерферометре, анализирующем содержание воздуха в водороде.

Производство испытаний на газопроницаемость с помощью интерферометров требует квалифицированных работников и хорошо оборудованной лаборатории.

Химический метод. Этот метод основан на химическом связывании продиффундированного через баллонную материю газа. В качестве примера можно указать на приборы для определения водородопроницаемости, снабженные приспособлением для сжигания водорода с последующим поглощением и взвешиванием образовавшейся воды. Подобный прибор был разработан проф. Сапожниковым и применялся в Высшей воздухоплавательной офицерской школе (1910—1914 гг.).

Схема этого прибора показана на рис. 136.

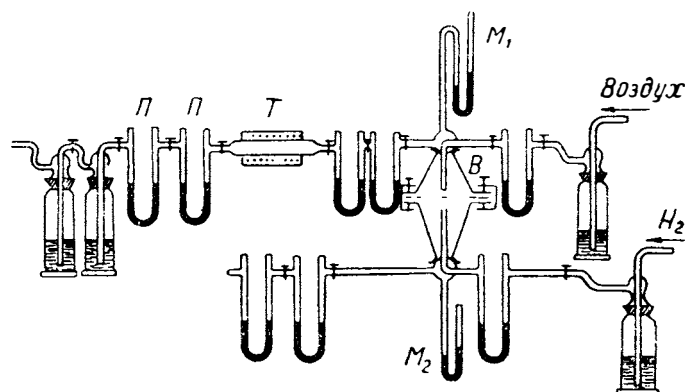


Рис. 136. Схема установки для испытания газопроницаемости баллонных материй по методу сжигания.

Образец баллонной материи, закрепленный между двумя стеклянными камерами B , оmyвается с одной стороны током сухого водорода, с другой стороны — током сухого воздуха.

Водород, продиффундировавший через материю, проходит вместе с воздухом через трубчатую печь T , наполненную платинированным асбестом или имеющую платиновую спираль в качестве катализаторов, способствующих сжиганию водорода.

Водяные пары поглощаются расположенными за трубчатой печью поглотителями, определение привеса которых за определенный промежуток времени позволяет вычислить газопроницаемость баллонной материи, зная площадь образца, количество продиффундировавшего водорода и время диффузии. Полученное значение газопроницаемости приводится к температуре $+15^{\circ}\text{C}$. Указанный метод отличается большой точностью, но требует квалифицированных лаборантов и большой затраты времени на производство одного определения.

Метод, основанный на измерении теплопроводности газов. Применение этого метода получило широкое распространение в воздухоплавательной практике. Приборы, построенные с использованием принципа измерения теплопроводности газов, позволяют определять газопроницаемость баллонных материй и оболочек аэростатов не только в виде отдельных вырезанных образцов, но и в виде целых

рулонов материи, а также непосредственно материи оболочек, наполненных газом, не прекращая эксплуатации оболочек.

В основе конструкции приборов использован принцип электрического измерения теплопроводности газов.

Газы являются плохими проводниками тепла. Для каждого газа определен коэффициент теплопроводности k , который выражается числом калорий теплового потока, проходящего в данном газе за единицу времени через единицу площади при температурном градиенте в 1° на единицу длины. Если выбрать за единицу времени — секунду, единицу длины — сантиметр, единицу площади — см^2 и единицу количества тепла — калорию, то коэффициенты теплопроводности и различных газов при 0°C выразятся величинами, приведенными в таблице 12.

Г а з ы	Т а б л и ц а 12	
	к а л	
	$\text{см}^2 \text{ сек}$	$\frac{\text{градус}}{\text{см}}$
Водород	38,1	$\cdot 10^{-5}$
Гелий	34,4	$\cdot 10^{-5}$
Кислород	5,55	$\cdot 10^{-5}$
Азот	5,45	$\cdot 10^{-5}$
Углекислота	3,28	$\cdot 10^{-5}$
Воздух	5,33	$\cdot 10^{-5}$
Пары воды при 100°C	5,2	$\cdot 10^{-5}$

Приведенные значения коэффициентов теплопроводности газов показывают на резкое отличие теплопроводности основных аэростатных газов водорода и гелия от теплопроводности других газов.

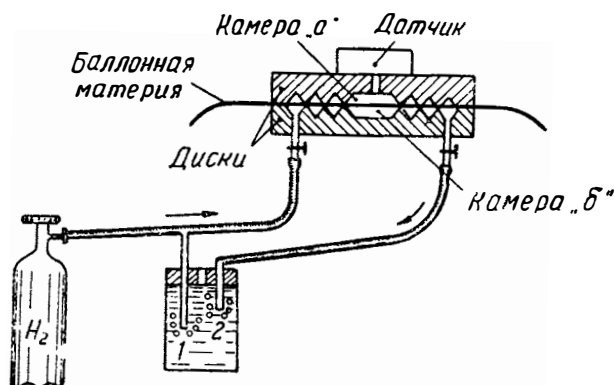


Рис. 137. Схема прибора для определения газопроницаемости баллонных материй.

Схема прибора для определения газопроницаемости баллонных материй путем измерения теплопроводности газов приведена на рис. 137.

Прибор состоит из двух металлических дисков, между которыми зажимается испытуемая баллонная материя. Материя разделяет внутреннюю полость прибора на воздушную камеру *а* и воздушную камеру *б*. Для предотвращения выгиба образца баллонной материи внутренняя сторона диска имеет ряд концентрических кругов треугольного сечения. При закреплении образца материи между дисками, фланцы дисков смазываются составом из вазелина и воска, что обеспечивает герметичность заделки концов материи. При испытании на газопроницаемость газ (водород или гелий) поступает из баллона в водородную (газовую) камеру прибора *б*, протекает вдоль закрепленного образца и выходит из этой камеры наружу. В газовую камеру прибора газ должен поступать под определенным сверхдавлением, составляющим 10—20 мм водяного столба. Для контроля верхнего предела сверхдавления применяют простой барботер в виде стеклянной банки с водой и опущенной в воду трубкой; последняя через тройник соединяется с газопроводом между баллоном и газовой камерой прибора. Опустив трубку *1* ниже уровня воды на 10—20 мм, регулируют вентилем выход газа из баллона так, чтобы в барботере из трубки *1* выходило не более 3—5 пузырьков в секунду. Перед пуском газа в газопровод необходимо удостовериться в отсутствии утечки газа через коммуникации и через заделку образца во фланцах дисков. Для контроля прохождения газа через прибор используется вторая трубка *2* барботера, опущенная в воду выше первой трубки на 1—2 мм. При правильном режиме прохождения газа через прибор у конца трубки *2* выделяются пузырьки газа в количестве 3—5 в секунду.

Газ, протекая вдоль образца баллонной материи, частично проникает через материя в воздушную камеру *а* прибора. С течением времени концентрация газа в воздушной камере прибора возрастает, причем увеличение концентрации газа происходит тем быстрее, чем больше проницаемость баллонной материи. Воздушная камера прибора соединяется с датчиком прибора, смонтированным на верхнем диске.

Датчик представляет собой сбалансированный мостик сопротивления, схема которого приведена на рис. 138.

Мостик сопротивления состоит из четырех плечей, изготовленных попарно из платиновых и манганиновых проволок. Одна из платиновых

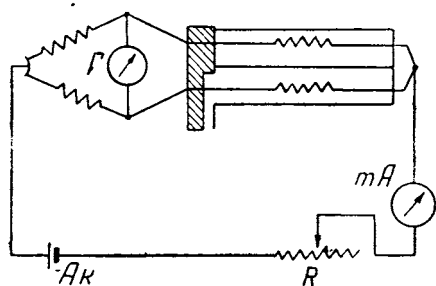


Рис. 138.

проволок монтируется в замкнутой, наполненной воздухом ячейке объемом около 0,6 см³, другая платиновая проволока также заключается в ячейку, сообщающуюся с воздушной камерой прибора, где происходит изменение концентраций газа при проведении испытания. Мостик сопротивления питается постоянным током силой в 0,1—0,2 А от источника тока *А_к*. Ток нагревает платиновые проволоочки до температуры порядка 100—120°C. Постоянная ве-

личина силы тока поддерживается при помощи реостата *R* и контролируется по миллиамперметру *mA*.

Газ, отличающийся от воздуха более высокой теплопроводностью (водород или гелий), попадая в ячейку, соединенную с воздушной камерой прибора, вызывает охлаждение нагретой платиновой проволоки, а, следовательно, и изменение ее сопротивления, что приводит к разбалансу мостика и отклонению стрелки гальванометра *Г*, включенного

в диагональ мостика. По отклонению стрелки гальванометра можно определить количество водорода или гелия, прошедшего через образец материи за определенное время, при условии предварительной градуировки прибора по водородо- или гелио-воздушным смесям.

Вычисление величины газопроницаемости баллонной материи производится по приближенной формуле, вывод которой приводится ниже:

Пусть

v — объем в $см^3$ камеры прибора a , соединенной с контролирующим плечом (ячейкой) мостика сопротивления;

w_1 — объем газа (водорода или гелия) в $см^3$, прошедший через испытуемый образец баллонной материи за время t ;

w_2 — объем воздуха в $см^3$, прошедший через испытуемый образец за время t в направлении, обратном диффундирующему газу;

t — время испытания в минутах;

A — поверхность испытуемого образца в $см^2$;

s — изменение концентрации газа в процентах за время t в заполненной воздухом камере прибора;

P — проницаемость баллонной материи в литрах газа через квадратный метр за сутки.

Объем газа в воздушной камере прибора через время t будет равен

$$v + w_1 - w_2$$

и, следовательно, величина s может быть выражена как

$$s = \frac{100 w_1}{v + w_1 - w_2}.$$

Обозначим $\frac{w_1}{w_2} = \varphi$, тогда

$$s = \frac{100 w_1}{v \left(1 - \frac{1}{\varphi} \right) w_1},$$

откуда

$$w_1 = \frac{s v}{100 - \left(1 - \frac{1}{\varphi} \right) s}$$

или

$$w_1 = \frac{s v \left[100 + \left(1 - \frac{1}{\varphi} \right) s \right]}{100^2 - \left[\left(1 - \frac{1}{\varphi} \right) s \right]^2}.$$

Так как величина $\left(1 - \frac{1}{\varphi} \right)$ близка к единице, а величина $\left[\left(1 - \frac{1}{\varphi} \right) s \right]^2$ весьма мала по сравнению с 100^2 , получаем, с учетом указанных замечаний, следующее приближенное значение для w_1 :

$$w_1 = \frac{(100 + s) v \cdot s}{100^2}.$$

Выражая величину w_1 в л/м² за сутки и рассматривая ее как газопроницаемость баллонной материи, получим

$$P = \frac{1,44 v}{A} \frac{(100 + s) s}{t}.$$

Величины v и A являются постоянными для данного прибора и тогда формула приобретает вид:

$$P = k \frac{(100 + s) s}{t} \text{ л/м}^2$$

за сутки при данной температуре, где k — коэффициент прибора определяется постоянными величинами $k = \frac{1,44 \cdot v}{A}$.

Большинство приборов конструктивно выполняются так, что величина коэффициента k равна или близка к единице.

Найденное значение проницаемости P приводят к значению проницаемости при +15°C, для чего величину P необходимо умножить на коэффициент, соответствующий температуре опыта (см. таблицу 11 или номограмму на рис. 131).

В вышеприведенной формуле величиной s в скобках $(100 + s)$ при практическом определении проницаемости можно пренебречь, тогда формула для определения проницаемости будет иметь вид:

$$P = k \frac{100 \cdot s}{t} \text{ или } P = k_1 \frac{s}{t},$$

где $k_1 = 100 k$.

Если время испытания постоянно, например t равно 10 минутам, формула принимает еще более простой вид:

$$P = k \frac{100 \cdot s}{10} \text{ или } P = k_2 s,$$

где $k_2 = 10 k$.

Шкалу гальванометра градуируют прямо в процентах водорода или азота (рис. 139), а при заранее выбранной продолжительности проведе-

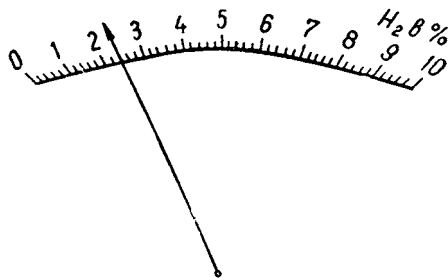


Рис. 139.

ния опыта шкала может быть проградуирована и по величине проницаемости, т. е. в литрах с одного квадратного метра в сутки.

Рассмотрим пример обработки результатов испытания газопроницаемости.

Запись в журнал испытания баллонной материи на газопроницаемость производится по следующей форме:

Время в минутах	Показания гальвано- метра H_2 в ‰	Температура в °C
0	0	23,0
1	0,05	23,1
2	0,15	23,1
3	0,35	23,2
4	0,56	23,2
5	0,75	23,2
6	0,97	23,2
7	1,15	23,2
8	1,35	23,3
9	1,53	23,3
10	1,75	23,3
11	1,94	23,3
12	2,15	23,3
13	2,35	23,3

На основании результатов испытаний построим график, приведенный на рис. 140. По оси абсцисс откладывается время в минутах, по оси ординат — показания гальванометра в ‰ водорода. Первые две-три

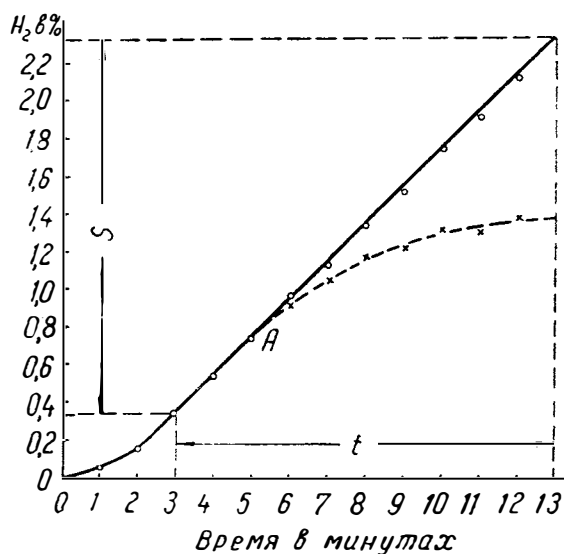


Рис. 140.

минуты зависимость изменения концентрации водорода от времени не носит прямолинейного характера, далее зависимость можно считать прямолинейной. Начальный участок кривой объясняется еще неустановившимся процессом проницаемости в первый период проведения испы-

тания и его при расчетах не принимают во внимание. Диаграмма помогает и контролю правильности проведения испытания. Например, если в результате испытания оказалось, что точки легли на кривую, показанную пунктиром, то следует считать, что после времени, соответствующего точке А, в приборе появилась утечка газа и испытание необходимо повторить.

Для подсчета величины проницаемости по приведенным результатам показания гальванометра за первые три минуты не принимаются во внимание, тогда :

$$\text{время } t = 13 - 3 = 10 \text{ минут;}$$

$$s = 2,35 - 0,35 = 2,0.$$

Эти величины подставляются в формулу для подсчета величины проницаемости:

$$P = k \frac{(100 + s)s}{t}.$$

Если коэффициент k прибора равен единице, получим:

$$P = \frac{(100 + 2) \cdot 2}{10} = 20,4 \text{ л/м}^2$$

в сутки, при $+23^\circ\text{C}$.

Изменение температуры за время опыта до $0,5^\circ\text{C}$ во внимание не принимается.

Для приведения полученной величины проницаемости к значению при $+15^\circ\text{C}$ воспользуемся таблицей 11 или номограммой. По таблице находим множитель, соответствующий $+23^\circ$, равный 0,73, тогда

$$P_{15} = 20,4 \cdot 0,73 = 14,89 \text{ л/м}^2$$

в сутки, при $+15^\circ\text{C}$.

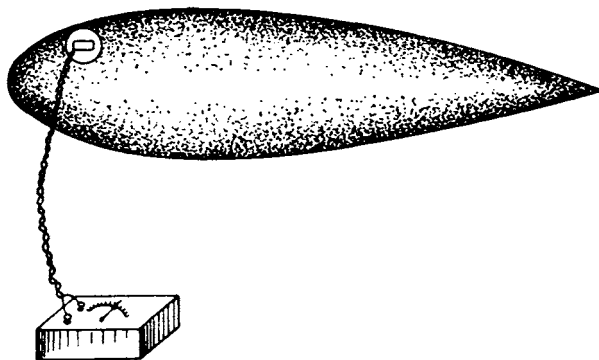


Рис. 141. Испытание на газопроницаемость наполненных газом оболочек.

Если воспользоваться упрощенной формулой

$$P = k_1 \frac{s}{t},$$

где $k_1 = 100 \cdot 1 = 100$, получим

$$p = 100 \cdot \frac{s}{t} = 20 \text{ л/м}^2$$

в сутки, при $+23^\circ\text{C}$,

$$P_{15} = 14,6 \text{ л/м}^2$$

в сутки, при $+15^\circ\text{C}$.

Разница между первым и вторым способами расчета величины проницаемости не имеет существенного значения.

При испытании газопроницаемости наполненных газом оболочек камеры a (рис. 137) вместе с датчиком прижимают к оболочке так, как это показано на рис. 141. Датчик соединен электропроводами с гальванометром, находящимся на земле около оболочки. Испытание производится так же, как и в предыдущем случае, только время испытания ограничивается 7—10 минутами.

Диск с камерой a придерживают руками, для чего необходимо иметь стремянку, или, как чаще поступают на практике, поворачивать оболочку и придерживать диск с камерой руками, стоя на земле. Для проведения этих испытаний необходимы два наблюдателя.

19. Определение чистоты газа

Чистотой газа называется выраженное в объемных процентах содержание водорода или гелия в аэростатном газе. Уменьшение чистоты газа понижает удельную подъемную силу газа. Для водорода уменьшение чистоты способствует также увеличению взрывоопасности этого газа при эксплуатации аэростатов. Советскими учеными были изучены вопросы, относящиеся к изменению чистоты газа в оболочках аэростатов. Так, С. А. Рейтлингером было исследовано влияние природы газа на проницаемость различных пленок. В этих работах было показано, что величина газопроницаемости баллонной материи зависит от свойств диффундирующего через материю газа.

При оценке качества баллонной материи в воздухоплавании основное значение имеет величина проницаемости материи для аэростатных газов (водорода и гелия). Не менее важным является изучение одновременной обратной проницаемости той же баллонной материи атмосферными газами (кислородом и азотом). Результаты этого исследования позволили установить, что «воздух», который проходит через баллонную материю внутрь оболочки, в результате одновременной обратной диффузии, почти в два раза более богат кислородом, чем обычный атмосферный воздух. Это обстоятельство позволяет пересмотреть верхнюю границу взрывоопасности смеси водорода с «воздухом» внутри оболочек с точки зрения безопасности эксплуатации аэростатов.

По данным зарубежных исследователей верхняя граница взрывоопасных концентраций для смесей водорода с воздухом колеблется в пределах от 66,3 до 71,2% водорода, причем эта верхняя граница области взрывоопасных концентраций распространялась ранее и на чистоту газа в оболочках аэростатов. Исследования наших ученых показали, что верхняя граница области взрывоопасных концентраций для смесей водорода с «воздухом», прошедшим через оболочку, благодаря большему содержанию в нем кислорода, расположена несколько выше, отвечая чистоте водорода в 85%.

Для большинства каучукоподобных высокополимерных соединений отношение между проницаемостями водорода, гелия, кислорода и азота

сохраняет приблизительно постоянное значение. Из этого следует, что применение баллонных материй с газодержащим слоем, обладающим малой проницаемостью, имеет решающее значение с точки зрения более медленного засорения газа в оболочке воздухом в период эксплуатации аэростата.

С. А. Рейтлингер приводит следующую таблицу относительного значения проницаемости некоторых каучукоподобных полимеров для водорода, гелия, азота и кислорода, причем величина водородопроницаемости принята за единицу.

Таблица 13

Наименование полимера	Относительное значение проницаемости			
	водород	гелий	азот	кислород
Натуральный каучук	1,00	0,67	0,19	0,47
Натрийдивиниловый каучук . .	1,00	0,68	0,14	0,44
Бутадиенстирольный каучук . .	1,00	0,61	0,14	0,42
Полихлорпрен	1,00	0,61	0,10	0,28
Бутилкаучук	1,00	1,24	0,04	0,19

Из данных, приведенных в таблице 12, следует, что благодаря различным величинам относительных проницаемостей азота и кислорода, «воздух», продиффундировавший через баллонную материю внутрь оболочки, должен отличаться по своему составу от атмосферного. Если произвести расчет количества кислорода и азота, которые проникают, например, через пленку из натурального каучука, с учетом, что атмосферный воздух состоит примерно из смеси 20% кислорода и 80% азота, то получим, что «воздух», прошедший через пленку внутрь оболочки, будет содержать 36% кислорода и 64% азота. Анализ действительного содержания этих газов в оболочке показал, что содержание кислорода в «воздухе» внутри оболочки колеблется от 22 до 32%, что объясняется наличием в оболочке отверстий, через которые может проникать атмосферный воздух, менее богатый кислородом, чем тот «воздух», который проходит в оболочку через неповрежденную пленку.

Изменение чистоты газа в оболочке в первую очередь зависит от величины газопроницаемости примененной для изготовления оболочки баллонной материи. Естественно, что чем меньше проницаемость баллонной материи, тем более медленно будет происходить изменение чистоты газа в оболочке.

Кроме величины газопроницаемости, на изменение чистоты газа в оболочке влияет отношение величины поверхности оболочки к ее объему. Чем меньше объем оболочки, тем больше отношение при одинаковой форме величины ее поверхности к объему, тем относительно быстрее происходит снижение чистоты подъемного газа.

Обозначим поверхность оболочки через s , а ее объем — через u . Тогда отношение $\frac{s}{u}$ может быть, в зависимости от объема оболочки, или дробью, или целым числом с дробью.

Потеря чистоты газа за сутки может быть определена приборами или другими способами, известными в эксплуатации. На рис. 142 при-

веден график, где по оси абсцисс отложено отношение $\frac{s}{u}$, а по оси ординат — потеря чистоты газа в % за сутки. Изменение чистоты газа выражено на графике в зависимости от отношения $\frac{s}{u}$ и от величины проницаемости баллонной материи оболочки.

Из графика видно, что чем больше отношение $\frac{s}{u}$, тем, при одинаковом значении проницаемости, больше и падение чистоты газа за сутки, а значит чаще придется производить смену газа в оболочке.

Рассмотрим несколько примеров. Имеются две оболочки из одинаковой баллонной материи с газопроницаемостью, равной, допустим, 10 л/м^2 в сутки при 15°C . Пусть отношение $\frac{s}{u}$ для первой оболочки

равно 2, а для второй оболочки равно 0,8. Обращаясь к графику на рис. 142, находим, что суточная потеря чистоты газа в первой оболочке составит 0,5%, а во второй — 0,2%.

Если нижний допустимый предел чистоты газа составляет 85% и обе оболочки наполнены одновременно свежим газом, имеющим чистоту в 97%, то сменить газ в первой оболочке необходимо через:

$$\frac{97 - 85}{0,5} = 24 \text{ суток,}$$

а во второй оболочке через:

$$\frac{97 - 85}{0,2} = 60 \text{ суток.}$$

Приведенные примеры показывают, что смена газа для первой и второй оболочек через указанное время является необходимым мероприятием и ни в какой мере не может быть отнесена к дефектам материи в области газопроницаемости.

Приведенный график может быть использован и для определения среднего значения газопроницаемости оболочки без трудоемкого процесса выполнения испытания оболочки на газопроницаемость, особенно в полевых условиях.

Допустим, что ежедневным определением чистоты газа в оболочке, при средней суточной температуре $+15^\circ\text{C}$, установлена суточная потеря чистоты газа в 1%. Пусть отношение $\frac{s}{u}$ для данной оболочки будет равно 0,8. Тогда по графику рис. 142 найдем, что средняя газопроницаемость данной оболочки будет составлять 50 л/м^2 в сутки при $+15^\circ\text{C}$.

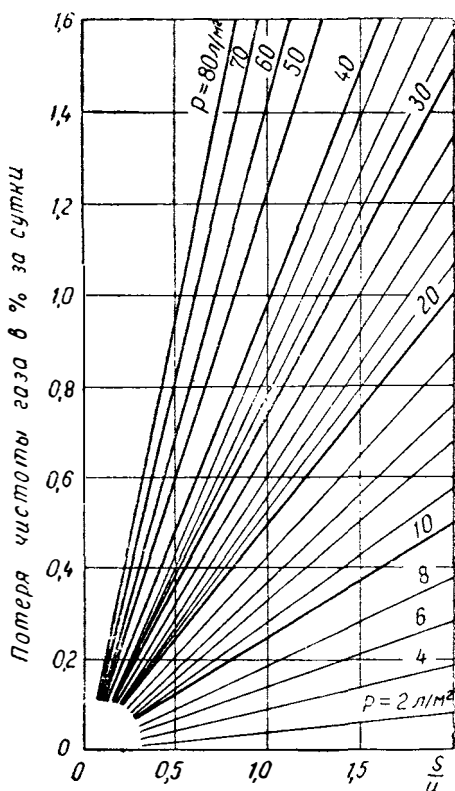


Рис. 142.

т. е. выше нормы забракования. Если потеря чистоты газа в сутки составляет тот же 1%, но при средней суточной температуре, допустим, в $+20^{\circ}\text{C}$, то, пользуясь таблицей 10, находим, что температуре $+20^{\circ}\text{C}$ соответствует множитель 0,82. Умножая суточную потерю чистоты газа на эту величину, получим $1 \times 0,82 = 0,82$. По графику на рис. 142 находим, что суточной потере чистоты газа в 0,82%, при том же отношении $\frac{s}{u}$, равном 0,8, соответствует средняя проницаемость оболочки в 40 л/м^2 в сутки при 15°C .

Приборы и способы определения чистоты газа. Для определения чистоты газа существует ряд приборов, некоторые из которых снабжены шкалами с делениями, позволяющими непосредствен-

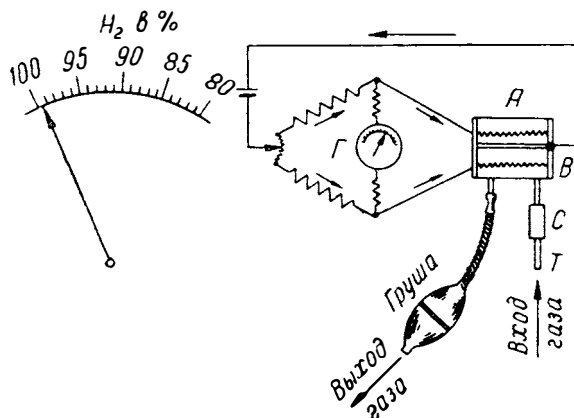


Рис. 143. Схема прибора для испытания чистоты газа.

но отсчитывать процентное содержание азростатного газа в данном объеме газовой смеси. Подобные приборы весьма удобны в эксплуатации, так как при их использовании требуется минимальное время для определения чистоты газа. К этой группе приборов относятся газоанализаторы, основанные на существовании зависимости теплопроводности от состава смеси газов. На рис. 143 приведена схема такого прибора. Шкала прибора, градуированная в процентах водорода или гелия, имеет деления от 80 до 100% чистоты газа. Перед испытанием газа на его чистоту трубку T прибора соединяют резиновым шлангом с газоместилем (азростатом, баллоном, газгольдером и т. п.), чистоту газа в котором требуется определить. Если в газоместиле газ находится под сверхдавлением, то он сам проходит через трубку прибора, если же сверхдавление отсутствует, то газ приходится просасывать через трубку с помощью резиновой груши. После пропускания газа через прибор в течение 5 минут остановившаяся стрелка прибора непосредственно укажет процентное содержание газа в смеси, т. е. его чистоту. Работа прибора основана на отличии теплопроводности азростатных газов (водорода и гелия) от других газов. Газ, проходящий через прибор, поступает в камеру прибора с платиновым плечом мостика сопротивления. Второе плечо мостика, помещенное в другой замкнутой камере, окружено газом стопроцентной чистоты. Так как состав и теплопроводность газов в обеих камерах, где помещены плечи мостика, будут различны, то при прохождении тока изменится температура проволоки

плеча, а, следовательно, изменится и сопротивление проволоки, в силу чего нарушится равновесие мостика и возникнет движение стрелки гальванометра до тех пор, пока концентрация газа в камере, через которую он проходит, не будет постоянной и стрелка остановится на определенном делении.

Чистоту газа можно определить и другими способами, основанными на предварительном определении удельной подъемной силы газа при данной температуре и давлении. Для практических целей проведения расчетов составляются специальные таблицы. Подобная таблица для определения удельной подъемной силы водорода в зависимости от чистоты газа, температуры и давления воздуха при 760 мм ртутного столба приведена в приложении 4. С помощью этой таблицы можно решать и обратную задачу, т. е., зная удельную подъемную силу газа при данных температуре и давлении, можно определить чистоту газа. Рассмотрим примеры пользования этой таблицей.

Допустим, что чистота водорода в аэростате определена в 94%, при этом температура газа была $+10^{\circ}\text{C}$, а давление атмосферы составляло 750 мм рт. ст. Для определения удельной подъемной силы водорода в таблице на пересечении горизонтальной строки, соответствующей $+10^{\circ}\text{C}$, и вертикального столбца, соответствующего чистоте газа в 94%, находим значение удельной подъемной силы водорода — $1,090 \text{ кг/м}^3$, но при давлении 760 мм рт. ст. Для приведения значения удельной подъемной силы к указанному давлению, полученную величину необходимо умножить на поправочный коэффициент давления. Эти коэффициенты приводятся тут же в таблице.

Для данного примера коэффициент, соответствующий давлению в 750 мм, равен 0,987 и, следовательно, удельная подъемная сила Φ для данных условий будет равна:

$$\Phi = 1,090 \times 0,987 = 1,076 \text{ кг/м}^3.$$

Для решения обратной задачи, т. е. при нахождении чистоты газа по определенной при данных условиях удельной подъемной силе, величину последней надо разделить на поправочный коэффициент давления и полученное значение, или близкое к нему, отыскать в горизонтальной строке, соответствующей данной температуре, тогда по наименованию вертикального столбца можно получить значение чистоты газа.

Пусть определена удельная подъемная сила водорода $\Phi = 1,218 \text{ кг/м}^3$, температура воздуха — 10°C , давление 765 мм рт. ст. Находим в таблице поправочный коэффициент для давления в 765 мм ртутного столба, равный 1,007. Разделив 1,218 на 1,007, получим значение удельной подъемной силы

$$\Phi = \frac{1,218}{1,007} = 1,210 \text{ кг/м}^3,$$

при давлении в 760 мм ртутного столба и температуре — 10°C .

В горизонтальной строке таблицы, соответствующей температуре 10°C , находим значение Φ , равное $1,210 \text{ кг/м}^3$, а в наименовании вертикального столбца находим значение чистоты водорода, равное при этих условиях 97%.

Таблица составлена для значений удельной подъемной силы газа, когда этот последний представляет смесь водорода с воздухом обычного состава. Как было указано выше, по исследованиям наших советских ученых, внутри оболочки «воздух» имеет другой состав, а именно, он со-

стоит из 32 % кислорода и 68 % азота. Возникает вопрос о возможности пользования таблицей для определения значений удельных подъемных сил газа, если данные в таблице вычислены для смесей водорода с обычным атмосферным воздухом. Рассмотрим этот вопрос. Пусть «воздух» внутри аэростата состоит из смеси — 32 % O_2 и 68 % N_2 , тогда, принимая нормальные плотности для газов: водорода $0,09 \text{ кг/м}^3$, кислорода $1,43 \text{ кг/м}^3$, азота $1,25 \text{ кг/м}^3$, получим следующие значения для удельной подъемной силы смеси при нормальных условиях:

Чистота газа в % по объему	Удельная подъемная сила в кг/м^3	
	при смеси с нормальным воздухом	при смеси с „воздухом“ в аэростате
100	1,203	1,203
95	1,143	1,142
90	1,083	1,081
85	1,023	1,020
80	0,965	0,959

Приведенные данные показывают, что практическая разница в удельных подъемных силах, рассчитанных по двум вариантам, ничтожна и поэтому, безусловно, можно пользоваться таблицами, составленными для удельной подъемной силы водорода в смеси с обычным воздухом. Здесь следует оговориться, что в случае наличия других примесей в аэростатном газе, кроме указанных во втором варианте, т. е. кислорода и азота, будем иметь другое значение удельной подъемной силы, но эти другие примеси, как правило, настолько ничтожны, что практически не влияют на значение удельной подъемной силы. Таким образом, чистоту газа в процентах по объему, в практике эксплуатации можно отождествлять с процентами от подъемной силы химически чистого водорода.

На практике определение удельной подъемной силы газа при данных метеорологических условиях может быть выполнено различными способами.

Одним из простейших приемов является взвешивание наполненного газом аэростата, которое производится в безветренную погоду. Для использования данного способа необходимо знать объем и вес аэростата со снаряжением. Аэростат уравнивают в воздухе, подвешивая к нему мешки с балластом, вес которых должен быть точно определен. Обозначая общую подъемную силу через Φ , вес аэростата со снаряжением через Q , вес балласта для уравнивания аэростата через P , получим следующее равенство:

$$\Phi = Q + P.$$

При объеме газа равном u удельная подъемная сила будет:

$$\phi = \frac{\Phi}{u} = \frac{Q + P}{u}.$$

Зная удельную подъемную силу при данной температуре и давлении, нетрудно определить чистоту газа в процентах по таблице, приведенной в приложении 4.

Данный способ определения удельной подъемной силы газа обладает многими недостатками, которые могут существенно отразиться на точности результатов. Во-первых, необходима безветренная погода; во-вторых, трудно определить истинный вес оболочки со снаряжением, нужно иметь в виду, что истинный вес оболочки и снаряжения может отличаться от указанного в формуляре, например, за счет влажности оболочки, веса наложенных на оболочку в период ее эксплуатации заплат, смены снаряжения, смены деталей оболочки и т. п.; в-третьих, газовый объем оболочки учитывается обычно из формуляра (проектный), а на самом деле деформированная оболочка может и не иметь этого объема.

Второй способ определения удельной подъемной силы газа основан на применении шара-пилота. Оболочка шара-пилота взвешивается на технических весах с точностью до грамма и наполняется газом из аэростата. Следует отметить, что наполнение газом резинового шара-пилота через манометрическую трубку аэростата сопряжено с определенными трудностями. Чтобы наполнить оболочку шара-пилота до необходимого объема, сверхдавление газа в аэростате должно быть порядка 60—70 мм водяного столба, что никогда не бывает при содержании аэростата на биваке. В этом случае надо или закатать часть оболочки для создания необходимого сверхдавления, или же наполнить газом из аэростата небольшой матерчатый баллон и уже из него передавать газ в оболочку резинового шара-пилота.

Шар-пилот, наполненный газом, точно уравнивается (взвешивается) в воздухе с целью определения его сплавной силы P .

Полная подъемная сила будет:

$$\Phi = Q + P,$$

где Q — вес оболочки шара-пилота.

Далее необходимо определить объем наполненного газом шара, для чего матерчатой лентой с делениями измеряют окружности шара по меридианам и по экватору. По среднему значению длины окружности вычисляют диаметр шара и его объем. Разделив Φ на объем u , находят удельную подъемную силу газа при данной температуре и давлении и далее по таблице определяют чистоту газа.

Способ определения удельной подъемной силы газа при помощи шара-пилота, кроме трудности забора в оболочку газа из аэростата, обладает еще рядом недостатков. Во-первых, наполненный газом шар-пилот почти никогда не бывает правильной сферической формы, в связи с чем при измерении его окружности делают ошибку в определении объема; во-вторых, «взвешивание» шара в воздухе, при его малом объеме, не может быть произведено достаточно точно, что также вносит погрешность при определении удельной подъемной силы газа.

В практике эксплуатации аэростатов тем не менее всегда необходимо знать чистоту газа, которую часто приходится определять и при отсутствии приборов.

Наиболее простым и достаточно точным является способ определения чистоты газа с помощью матерчатого шара.

Для этой цели из баллонной материи изготовляют шар определенного объема u . Этот объем выбирается таким образом, чтобы при наполнении шара аэростатным газом сплавная сила была отрицательной, т. е. наполненный газом шар не поднимался бы в воздух. При этих условиях можно взвесить шар с газом на технических весах.

Обозначим вес оболочки шара без газа через Q , а вес шара, наполненного азростатным газом, — через B . Естественно, что вес шара, наполненного газом, будет меньше Q .

Очевидно

$$Q = B + \Phi u,$$

где Q и B выражены в кг, Φ — в кг/м³, u — в м³. Отсюда имеем:

$$\Phi = \frac{Q - B}{u}.$$

Определенная этим способом удельная подъемная сила газа отнесена к условиям температуры и давления, при которых произведено взвешивание шара на технических весах. Если взвешивание произведено тут же около азростата, при тех же температуре и давлении, то найденная удельная подъемная сила газа и будет той самой искомой величиной, которую необходимо знать эксплуатационнику и по которой можно определить общую подъемную силу азростата.

Если же необходимо определить чистоту газа в процентах, то пользуются таблицей, приведенной в приложении 4, как это было указано выше. Этот способ удобен тем, что объем шара точно определен заранее. Взвешивание шара, наполненного газом, производится на технических весах с достаточной точностью и, наконец, наполнение матерчатого шара газом через манометрическую трубку азростата не представляет никаких затруднений, так как оболочка шара наполняется газом при любом самом малом сверхдавлении газа в азростате.

Обычно взвешивание шара не производится около азростата, а проба газа, взятая непосредственно из азростата в небольшом матерчатом газоместилище (малом газгольдере), переносится в отдельное помещение, где и производится взвешивание матерчатого шара. Газ из малого газгольдера переливают в шар, причем объем малого газгольдера должен быть всегда на 25—50% больше объема шара, и производят взвешивание шара, измеряя одновременно температуру воздуха при помощи термометра, расположенного на уровне шара, и давление воздуха по манометру. Температуру достаточно измерить с точностью до 0,5°, давление — с точностью до 1 мм.

Газ, перелитый из малого газгольдера в шар, выдерживается около 10 минут в помещении. Если температура помещения выше температуры наружного воздуха, то по истечении десяти минут можно начать взвешивание шара, так как последний будет хорошо выполнен и газ в шаре примет температуру помещения; если же температура помещения ниже температуры наружного воздуха, то шар, после первого наполнения, дополнительно подполняют газом из того же газгольдера. Перед газонаполнением шара последний должен быть хорошо закатан и весь воздух из него удален.

Рассмотрим численный пример. Пусть вес матерчатого шара без газа составляет 0,5 кг; после наполнения водородом и взвешивания вес шара оказался равным 290 г; объем шара — 200 л. Барометрическое давление в момент взвешивания шара равно 752 мм ртутного столба. Температура воздуха, измеренная на уровне шара, определена в +16°C. Следовательно:

$$Q = 0,5 \text{ кг}; \quad B = 0,29 \text{ кг}; \quad u = 0,2 \text{ м}^3,$$

тогда

$$\Phi = \frac{Q - B}{u} = \frac{0,5 - 0,29}{0,2} = 1,05 \text{ кг/м}^3,$$

т. е. удельная подъемная сила данного газа, при $t = +16^\circ\text{C}$ и давлении 752 мм рт. ст. будет иметь величину $1,05 \text{ кг/м}^3$. Для определения чистоты газа в процентах по таблице (приложение 4) находим сначала поправочный коэффициент на давление. Этот коэффициент для 752 мм равен 0,99. Разделив 1,05 на 0,99, получим значение удельной подъемной силы — $1,06 \text{ кг/м}^3$ при температуре $+16^\circ\text{C}$ и давлении уже в 760 мм рт. ст. В таблице, в горизонтальной строке, соответствующей 16°C , значения 1,06 нет, но есть близкая к нему величина $1,057 \text{ кг/м}^3$. По наименованию вертикального столбца находим значение 93%, что в данном случае и следует принять за значение чистоты газа. Естественно, что, пользуясь таблицей, можно применять интерполяцию.

Определить чистоту газа можно с достаточной точностью и не пользуясь таблицей в приложении 4. Для этого необходимо воспользоваться следствием из уравнения состояния в применении к воздухоплавающим газам.

Из уравнения состояния имеем:

$$pu = GrT,$$

где p — атмосферное давление в кг/м^2 ;

u — объем газа в м^3 ;

G — вес газа в кг ;

r — характеристическая газовая постоянная в кг м/градус кг ;

T — абсолютная температура.

Общая подъемная сила газа некоторого объема u будет:

$$\Phi = G_{\text{возд}} - G_{\text{газ}}.$$

Пользуясь приведенным выше уравнением, получим:

$$\Phi = \frac{pu}{T} \left(\frac{1}{r_{\text{возд}}} - \frac{1}{r_{\text{газ}}} \right) \text{ кг}.$$

Для удельной подъемной силы газа очевидно будем иметь:

$$\Phi = \frac{p}{T} \left(\frac{1}{r_{\text{возд}}} - \frac{1}{r_{\text{газ}}} \right) \text{ кг/м}^3.$$

В этом выводе мы предполагаем, что давление воздуха и давление газа в оболочке равны, также равны температуры газа и воздуха и газ химически чистый.

Давление воздуха определяется обычно в мм ртутного столба b , следовательно, последнюю формулу можно переписать так:

$$\Phi = \frac{13,6 \cdot b}{T} \left(\frac{1}{r_{\text{возд}}} - \frac{1}{r_{\text{газ}}} \right) \text{ кг/м}^3,$$

где 13,6 — удельный вес ртути.

Если аэростатный газ — водород, то $r_{\text{водород}} = 422,6 \text{ кг м/гр. кг}$ и $r_{\text{возд}} = 29,27 \text{ кг м/гр. кг}$, тогда:

$$\Phi_{\text{водород}} = 0,43 \frac{b}{T} \text{ кг/м}^3.$$

Для гелия $r_{\text{гелий}} = 212 \text{ кг м/гр. кг}$ и

$$\Phi_{\text{гелий}} = 0,4 \frac{b}{T} \text{ кг/м}^3.$$

Указанные формулы выведены для химически чистого газа. Когда газ не является химически чистым, а из опыта известна удельная подъемная сила Φ при данных метеорологических условиях, то приведенные выше формулы сохраняют свое значение при условии умножения правой части формул на коэффициент φ

$$\Phi_{\text{водород}} = 0,43 \frac{b}{T} \cdot \varphi$$

и

$$\Phi_{\text{гелий}} = 0,4 \frac{b}{T} \cdot \varphi.$$

Коэффициент φ легко определить из равенств:
для водорода

$$\varphi = \frac{\Phi \cdot T}{0,43 \cdot b},$$

для гелия

$$\varphi = \frac{\Phi \cdot T}{0,4 \cdot b}.$$

Умножая найденное значение φ на 100, получим чистоту газа в процентах.

Чтобы убедиться в том, что приведенные формулы для определения чистоты газа при известной величине удельной подъемной силы газа, в условиях данной температуры и давления, дают практически удовлетворительные результаты, сравним приведенные выше примеры по определению чистоты газа по таблицам с вычислениями по приведенным формулам.

Удельная подъемная сила водорода равна $1,076 \text{ кг/м}^3$ при температуре $+10^\circ\text{C}$ и давлении 750 мм ртутного столба. При этих условиях чистота газа составляет 94 %. Если при этих условиях, зная Φ , b и T , определить φ , то получим

$$\varphi = \frac{1,076 \cdot 283}{0,43 \cdot 750} \approx 0,94,$$

т. е. чистота газа будет 94,4 %.

Удельная подъемная сила, определенная с помощью матерчатого шара, оказалась равной $1,05 \text{ кг/м}^3$ при давлении в 752 мм ртутного столба и температуре $+16^\circ\text{C}$. Чистота газа, определенная по таблицам, составила 93 %. Обращаясь к последней формуле, получим:

$$\varphi = \frac{1,05 \cdot 289}{0,43 \cdot 752} \approx 0,938,$$

т. е. чистота газа будет 93,8 %.

Примеры показывают, что определение чистоты газа по последним формулам дает достаточно удовлетворительный для практического использования результат. В этих вычислениях предполагается, что температура и давление газа в оболочке одинаковы с температурой и давлением наружного воздуха.

20. Испытание тканей и баллонных материй на пневматической установке

В некоторых случаях является весьма полезным определение прочности и деформации путем растяжения образцов тканей или баллонных материй сжатым воздухом. Это испытание осуществляется на пневматической установке, схема которой изображена на рис. 144.

Стационарная пневматическая установка имеет трубку *A*, через которую поступает сжатый воздух. Трубка сообщается с манометром *B*, показывающим давление в трубке *A*.

Круглый плоский образец ткани или баллонной материи укрепляется на плите *C*, имеющей отверстие в центре, через которое поступает сжатый воздух под образец материи *D*. При испытании ткани под образец подкладывается тонкая резиновая пленка, не пропускающая воздух. Под влиянием возрастающего давления ткань или баллонная материя выпучивается, образуя в центре наибольшую стрелу прогиба. На образец материи в центре устанавливается свободнодвигающийся вдоль направляющих стержней *E*, прикрепленный шелковой нитью к указателю *G*, который отмечает стрелу прогиба. Существуют и другие более портативные установки для испытания на продавливание, в которых сжатый воздух подается под образец через шланг прямо от компрессора. Эти установки можно помещать в термокамеру и исследовать изменение прочности и деформации тканей и баллонных материй в зависимости от низких и высоких температур. Иногда испытания на продавливание материй проводят не при помощи сжатого воздуха, а с помощью воды — при этом испытания протекают более спокойно в момент разрушения образца. В этом случае для баллонных материй рекомендуется применять также тонкую резиновую прокладку, предохраняющую образец от смачивания.

Если при испытании на продавливание воздухом образец материи принимает сферическую форму, то напряжения, возникающие в материи, могут быть определены по обычной формуле для напряжений в шаре, т. е.

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

где σ — напряжение в кг/см ;

p — давление воздуха в кг/см^2 ;

R — радиус шаровой поверхности в см .

При проведении испытаний радиус R является величиной переменной и может быть выражен в каждый момент испытания через стрелу прогиба h и радиус, образца r . Из схемы рис 145 имеем

$$DB = h.$$

Из подобия треугольников DBC и BEO , где $OE \perp BC$,

$$\frac{BO}{BC} = \frac{BE}{DB} \quad \text{или} \quad \frac{R}{BC} = \frac{\frac{1}{2} BC}{h}$$

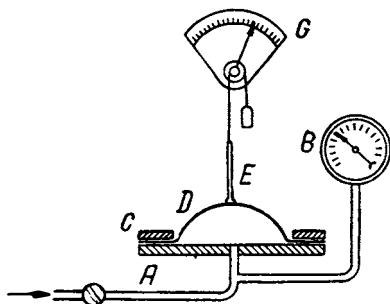


Рис. 144. Схема пневматической установки для испытания тканей и баллонных материй на прочность.

и

$$BC^2 = 2Rh \text{ (a).}$$

Из треугольника DBC

$$BC^2 = h^2 + r^2,$$

подставляя в (a), получим

$$2Rh = h^2 + r^2,$$

откуда

$$R = \frac{h^2 + r^2}{2h}.$$

Подставляя значение R в выражение для σ , получим

$$\sigma = \frac{p(h^2 + r^2)}{4h} \text{ кг/см.}$$

Абсолютное и, следовательно, относительное удлинение может быть

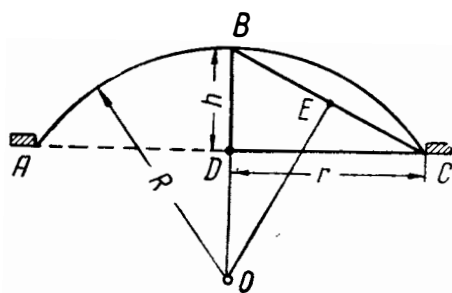


Рис. 145.

вычислено из разности дуги ABC и прямой AC (рис. 145). Принимая деформированный образец за сферический сегмент и зная стрелу прогиба, можно вычислить абсолютное и относительное удлинение. Для упрощения расчетов более простая и достаточно оправданная зависимость получается, если принять кривую деформации материи при испытании на продавливание за параболу, причем вершина параболы расположена в центре образца. При стреле прогиба h длина дуги параболы будет равна:

$$s = d \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2h}{d} \right)^2 \right], \text{ где } d = 2r.$$

Величина абсолютного удлинения будет равна:

$$\Delta l_1 = s - d = \frac{8h^2}{3d} = \frac{4h^2}{3r}.$$

Относительное удлинение будет равно:

$$\frac{\Delta l_1}{2r} = \frac{4h^2}{3r \cdot 2r} = \frac{2}{3} \frac{h^2}{r^2}.$$

Выражая относительное удлинение в %, получаем:

$$\varepsilon_{\%} = \frac{200h^2}{3r^2}.$$

Для испытаний выбирается определенная площадь образцов в 100, 200, 300 и т. д. см^2 . При выборе образца в 100 см^2 — $r^2 = 31,85 \text{ см}^2$ и формула для определения относительных удлинений в процентах принимает следующий простой вид:

$$\varepsilon \% = 2,1 h^2.$$

Наши отечественные приборы для испытания материй на продавливание позволяют при проведении испытания зарисовывать истинную кривую деформированного образца в любом направлении. Кроме того, нали-

чие зажимов образцов не только круглой формы, но овальной и цилиндрической позволяет расширить рамки исследований на этой установке. Некоторый интерес представляет сравнение деформаций образцов баллонной материи, испытанных по различным методам. Различают одноосные, т. е. испытания полосы материи, и двуосные испытания, при которых напряжения действуют по двум взаимно перпендикулярным направлениям. Сравним двуосные испытания, когда напряжения в двух взаимно перпендикулярных направлениях одинаковы, т. е. $\sigma_1 = \sigma_2$. Этих соотношений можно достичь при испытании крестообразного образца, при испытании плоского образца на пневматической установке и при испытании полусферического образца на той же пневматической установке.

Результаты этих испытаний для типовой баллонной материи представлены на рис. 146, причем для сравнения приведены и испытания одноосных образцов.

Интересно отметить, что деформации основы, полученные при испытаниях на пневматической установке и при одноосном испытании, достаточно близки друг к другу; деформация крестообразного образца в том же направлении основы достаточно резко отличается от предыдущих испытаний.

Деформации в направлении утка при испытании крестообразного образца, выпуклого образца при пневматических испытаниях и образца при одноосном напряжении достаточно близки друг к другу (рис. 146). Резкое отличие по деформации в направлении утка наблюдается при испытании плоского образца на пневматической установке. Фактически, эти деформации достаточно близко следуют деформациям основы того же плоского образца на пневматической установке.

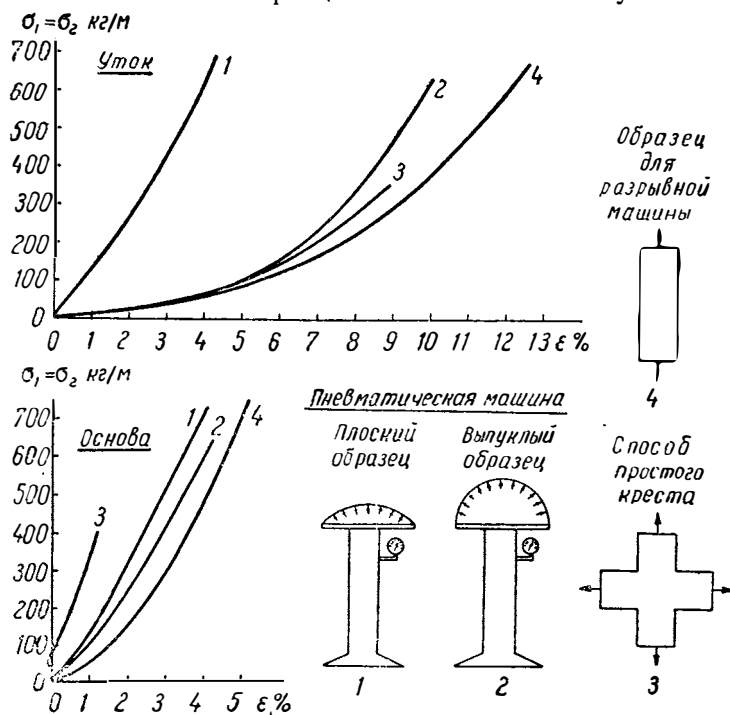


Рис. 146. Результаты испытаний баллонной материи различными методами.

Глава V

СРОКИ СЛУЖБЫ И НОРМЫ ЗАБРАКОВАНИЯ АЭРОСТАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

21. Баллонные материи и ткани

Аэростаты и парашюты могут эксплуатироваться в разнообразных метеорологических условиях, в связи с чем и сроки службы этих объектов могут значительно различаться по времени.

Оболочки аэростатов, которые эксплуатируются в климатических условиях, где преобладают прямой солнечный свет, высокая температура и низкая относительная влажность воздуха, будут иметь меньший срок службы, чем оболочки, эксплуатируемые в умеренном и холодном климате.

Весьма трудно учесть всю сумму метеорологических факторов, воздействующих одновременно, в разнообразных комбинациях на старение баллонных материй. Относительное представление о сроке службы оболочки аэростата может дать зависимость этого срока от количества тепла прямой солнечной радиации, полученного оболочкой за период эксплуатации.

Исследования в этой области показали, что прорезиненная баллонная материя, из которой изготавливаются оболочки аэростатов, достаточно удовлетворительно сохраняет свои физико-механические свойства после воздействия на нее количества тепла солнечной радиации до 50 000—70 000 кал/см². В разных широтах это количество тепла солнечной радиации может быть получено за различные сроки. В южных широтах, где преобладает прямой солнечный свет высокой интенсивности, это количество тепла может быть получено материей оболочки в течение нескольких месяцев, в более северных широтах это же количество тепла будет отвечать сроку эксплуатации, равному полутора и более годам. Отсюда ориентировочно можно предвидеть и сроки службы оболочек при их эксплуатации в различных климатических условиях.

Забракование оболочки аэростата производится, главным образом, в связи с потерей материей оболочки газонепроницаемых свойств. Старение прорезиненных баллонных материй было изучено путем проведения многочисленных исследований как в искусственных, так и в естественных условиях. Большинство исследований было поставлено с целью изучения изменений газопроницаемости и механических свойств материй в зависимости от воздействия различных факторов старения.

На рис. 147 показано изменение газопроницаемости баллонных материй в зависимости от времени экспозиции.

Баллонная материя типа 1 обладает достаточно хорошими показателями в отношении изменения газопроницаемости при эксплуатации. В течение достаточно продолжительного времени газопроницаемость подобной баллонной материи изменяется весьма мало, после чего наступает период довольно быстрого увеличения проницаемости. Оболочка азростата из материи, вступившей в период резкого возрастания газопроницаемости, должна быть или снята с эксплуатации или подвергнута лакировке, временно возвращающей материи оболочки первоначальные газонепроницаемые свойства.

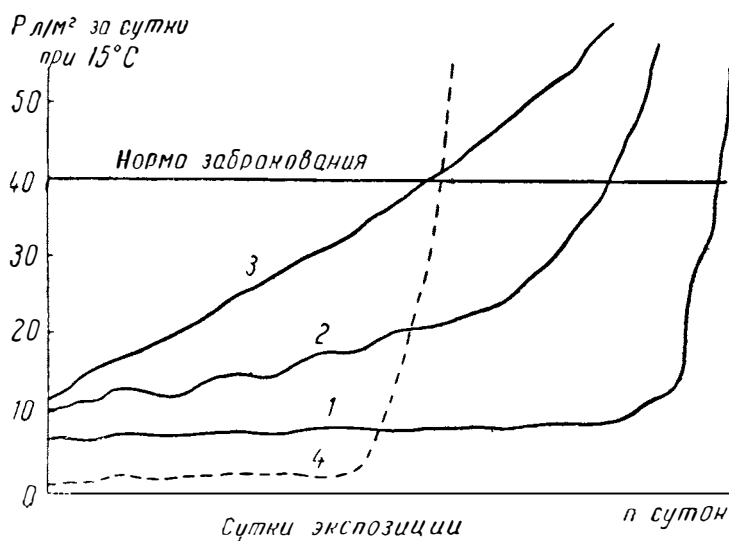


Рис. 147.

Баллонная материя типа 2 является, с точки зрения эксплуатации, достаточно удовлетворительной. В материи подобного типа изменение газопроницаемости происходит достаточно медленно, но постоянно в течение всего периода эксплуатации. Подобная материя десятки и даже сотни суток может удовлетворительно отвечать требованиям эксплуатации.

Баллонную материю типа 3 следует считать явно неудовлетворительной. Подобные материи с первых дней эксплуатации быстро и непрерывно теряют свои газонепроницаемые свойства, сроки службы таких материй незначительны, а эксплуатация оболочек, построенных из подобных материй, вызывает затруднения.

Баллонные материи с газодержащим слоем из лиофильных пленок, обладающих весьма малым значением проницаемости, сохраняют при эксплуатации исходную газопроницаемость почти без изменений (тип 4). Повышение газопроницаемости этих материй (тип 4) происходит за весьма непродолжительный период, что обычно связано с разрушением пленки.

Вышеприведенные результаты исследований изменения газопроницаемости при старении материй позволяют считать, что свыше 40 л/м² в сутки при 15°C газопроницаемость баллонных материй увеличивается весьма быстро, вследствие чего величина газопроницаемости в 40 л/м²

в сутки может быть принята за норму забракования баллонных материй. Данная норма забракования может быть дополнительно подтверждена результатами исследований советских ученых в области теории проницаемости баллонных материй, согласно которой верхняя граница взрывоопасности аэростатного газа соответствует чистоте газа в 85%. После снижения чистоты газа до 85% газ должен быть удален полностью из оболочки и заменен свежим газом. Скорость уменьшения чистоты газа в оболочке находится в прямой зависимости от величины газопроницаемости баллонной материи. Если рассмотреть установленную ранее норму забракования материи оболочек в 40 л/м^2 в сутки при 15°C , с точки зрения скорости потери чистоты газа в оболочке, то можно установить, что при этой величине проницаемости, газ в оболочке аэростата среднего объема должен сменяться через каждые 18—20 суток. Столь частая смена газа в оболочке аэростата является предельно-допустимой по техническим и экономическим причинам, в связи с чем следует считать, что вышеуказанная норма забракования оболочек по газопроницаемости отвечает также и требованиям эксплуатации аэростатов в отношении сохранения предела чистоты аэростатного газа. Для оболочек аэростатов из прорезиненных двухслойных баллонных материй срок службы в умеренном климате при непрерывной эксплуатации составляет около 250—300 суток; для оболочек дирижаблей из трехслойных прорезиненных баллонных материй срок службы составляет около двух-трех лет.

При эксплуатации аэростатов одновременно с повышением газопроницаемости наблюдается и некоторое снижение прочности баллонной материи оболочки. Снижение прочности баллонной материи происходит обычно несколько медленнее, чем повышение ее газопроницаемости, поэтому забракование баллонных материй, изготовленных на основе хлопчатобумажных тканей, происходит, как правило, за счет высокой газопроницаемости. В большинстве случаев, при значениях проницаемости порядка 40 л/м^2 в сутки при 15°C , уменьшение прочности такой баллонной материи редко превышает 5—10% от исходной величины. Баллонные материи, изготовленные на основе шелковых и капроновых тканей, при эксплуатации оболочек быстро понижают значение прочности и удлинения при разрыве материи, продолжая сохранять удовлетворительные значения величины газопроницаемости. При понижении прочности на 25% по отношению к первоначальной баллонная материя подлежит забракованию независимо от значения величины газопроницаемости. Забракование баллонной материи по механическим свойствам целесообразнее производить на основе данных по снижению величины работы разрыва материи, а не снижению прочности материи. Норма забракования в 25% обусловлена тем, что снижение прочности до величины в 25% от первоначальной происходит сравнительно медленно, в то время как дальнейшее снижение прочности протекает значительно быстрее и связано с одновременно наблюдающимся снижением удлинений материи.

— Весьма важное значение имеют сроки службы парашютов, изготовляемых из хлопчатобумажных или шелковых тканей. Определение этих сроков службы связано с большими затруднениями вследствие своеобразия эксплуатации парашютов. Рассмотрим некоторые исходные данные для определения этих сроков. На рис. 148 приведены результаты исследований изменения прочности тканей под влиянием атмосферных условий. Хлопчатобумажные ткани, обозначенные на рис. 148 номерами 1, 2 и 3, весят, соответственно, 55, 60 и 83 г/м^2 . Снижение прочности всех трех образцов хлопчатобумажных тканей имеет приблизительно одинако-

вый характер, причем более легкие ткани теряют свою прочность несколько скорее, чем более тяжелые. На рис. 148 показано, что в первые часы экспозиции снижение прочности ткани происходит сравнительно медленно, в дальнейшем же понижение прочности ускоряется.

Экспозиция хлопчатобумажных тканей обычно не предусматривает ни переменных, ни динамических нагрузок, которые всегда имеют место при эксплуатации парашютов, а также и периодического смятия тканей,

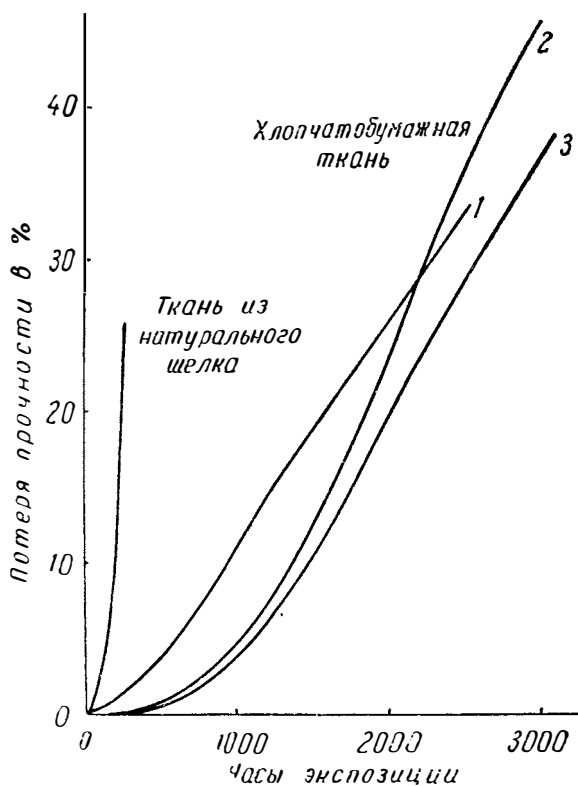


Рис. 148.

обусловленного укладкой купола парашюта в чехол. Все эти обстоятельства требуют для определения срока службы хлопчатобумажных тканей дополнительного введения некоторого поправочного коэффициента, меньшего единицы. Определение срока службы парашюта связано с выбором нормы забракования хлопчатобумажных тканей по прочности. Забракование тканей следует производить при 5% снижении прочности, считая от первоначальной прочности ткани. Дальнейшая потеря прочности по времени экспозиции происходит весьма интенсивно. Для самой легкой ткани (тип 1 рис. 148) потеря прочности в 5% от первоначального его значения наступает приблизительно через 500 часов экспозиции, но, учитывая наличие динамических и переменных нагрузок, а также смятие ткани, срок службы хлопчатобумажной ткани в парашютах должен быть установлен не более, чем в 250 часов.

Общее время эксплуатации парашюта рассматривается, как сумма времени всех сбрасываний, считая каждый раз с момента раскрытия до

окончания укладки парашюта в чехол после просушки. Указанное время эксплуатации должно быть отображено в формуляре парашюта.

Экспозиция в атмосферных условиях натуральной шелковой ткани сопровождается, по сравнению с хлопчатобумажной тканью, значительно большей скоростью снижения прочности ткани. Если установить норму забракования шелковой ткани по прочности также при потере 5% от первоначальной прочности ткани, то срок службы парашюта в этом случае определится в 60—80 часов эксплуатации.

22. Веревоочный такелаж

Льняные и хлопчатобумажные веревки характеризуются относительно продолжительными сроками службы при эксплуатации. На рис. 149

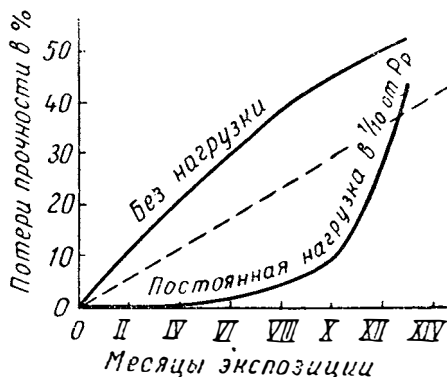


Рис. 149.

приведены средние результаты испытаний нескольких сотен образцов льняных веревок, подвергавшихся экспозиции в атмосферных условиях в нагруженном (0,1 от разрывного усилия) и ненагруженном состоянии.

Как показывает опыт, величина потери прочности веревок в зависимости от времени экспозиции весьма существенно зависит от степени нагружения веревок. Ветки, подвергающиеся экспозиции в ненагруженном состоянии, относительно быстро и равномерно понижают свою прочность, причем к концу года это снижение достигает 50% от вели-

чины первоначальной прочности веревки.

Потеря прочности веревок, находившихся под постоянной нагрузкой, равной 0,1 разрывного усилия, имеет иной характер. Первые шесть месяцев экспозиции потеря прочности незначительна, составляя всего 3—4% от первоначальной величины. Далее снижение прочности происходит с большей скоростью, причем через десять месяцев общая потеря прочности достигает 10%.

В процессе эксплуатации естественно трудно разграничить время, когда веревки, из которых изготовлен такелаж, находятся в нагруженном или ненагруженном состоянии. Среднее значение потери прочности, примерно, может быть выражено на диаграмме рис. 149 пунктирной линией. Если допустить, что срок службы веревочного такелажа должен быть ограничен потерей прочности в такелаже не более 25% (норма забракования), то срок службы веревочного такелажа при непрерывной эксплуатации может быть определен в 8—10 месяцев.

Для парашютных строп норма забракования должна быть ограничена понижением прочности строп на 10% от исходной.

23. Резиновые амортизаторы

Срок службы резиновых амортизаторов зависит от многих причин. Основной причиной, ограничивающей срок службы резиновых амортизаторов, является действие прямого солнечного света, ускоряющее окисление поверхностных слоев резины амортизатора. Под влиянием солнечного света резиновые амортизаторы могут разрушаться уже через 7—10 суток эксплуатации.

В оплетенных амортизаторах хлопчатобумажная оплетка удовлетворительно предохраняет резиновые нити от воздействия солнечного света при относительно невысоких растяжениях. Однако при растяжении оплетенных амортизаторов на 300 и более процентов, наружная хлопчатобумажная оплетка, не принимая участия в растяжении, становится достаточно редкой, и солнечный свет начинает проникать через оплетку непосредственно к резиновым нитям. Кроме того, при эксплуатации оплетенных амортизаторов наблюдается довольно часто защемление отдельных резиновых нитей между нитями оплетки при сокращении амортизатора. Образующиеся при этом «петельки» (рис. 150) мешают сокращению амортизатора.



Рис. 150.

Нарезные амортизаторы совершенно не защищены от действия солнечного света, в связи с чем они имеют сравнительно непродолжительный срок службы. Небольшие случайные порезы или заусенцы на поверхности нарезного амортизатора даже при незначительном растяжении способствуют преждевременному разрыву амортизатора.

Формовые амортизаторы являются лучшими в отношении сроков службы по сравнению с нарезными амортизаторами. Повышенный срок службы этих амортизаторов зависит от технологии изготовления и равномерности круглого поперечного сечения по всей длине амортизатора.

Существуют некоторые способы защиты системы наружных амортизаторов от действия прямого солнечного света, к этим способам относится применение фартуков из баллонной материи, закрывающих целиком всю амортизационную систему аэростата. Применение фартуков способствует повышению срока службы амортизаторов, но при условии, что фартуки не снимаются во время подъемов аэростатов, так как с подъемом на высоту увеличивается и интенсивность солнечной радиации, влияющей на срок службы резиновых изделий.

Лучшим способом сохранения резиновых амортизаторов при эксплуатации является установка их внутри оболочки аэростата, где нет влияния солнечного света и почти нет кислорода воздуха. Опыт показал, что резиновые амортизаторы, помещенные внутри оболочки, могут иметь сроки службы, достигающие нескольких сотен суток, в связи с чем необходимость в ежедневном осмотре и замене части амортизаторов, практикующаяся при употреблении наружных амортизаторов, в данном случае отпадает. Необходимо отметить, что связка концов амортизаторов в петлю должна исключать возможность развязывания петли. При соблюдении определенных правил связки и креплении концов, резиновые амортизаторы можно растягивать до расчетного удлинения без вытягивания амортизатора из места связки. Правильная связка амортизаторов в петлю должна являться законом в условиях эксплуатации и вытягивание амортизатора из места связки недопустимо, так как при массовом явлении влечет за собой аварию аэростата.

Норма забракования резиновых амортизаторов обуславливается тем, что со временем резина теряет стягивающие свойства. В качестве нормы забракования следует считать уменьшение потенциальной энергии стягивания амортизатора при нормальной температуре на 20%.

24. Тросы

Срок службы проволочного троса или живучесть троса зависит от конструктивных особенностей и условий эксплуатации троса.

На срок службы троса оказывают влияние:

- 1) предел прочности проволок;
- 2) усилия, возникающие в тросе;
- 3) диаметр роликов лебедки;
- 4) радиус канавки роликов;
- 5) уход, сбережение и смазка тросов;
- 6) наличие мягкого сердечника;
- 7) характер перегибов троса при эксплуатации;
- 8) род свивки троса.

Тросы, изготовленные из проволок с большим пределом прочности, обладают меньшим сроком службы по сравнению с тросами, свитыми из проволок с меньшим пределом прочности.

Кроме обычных механических испытаний, тросы иногда испытываются на сопротивление перегибам с помощью так называемой пробежной машины. Основной принцип действия пробежной машины заключается в периодических перегибах троса между роликами каретки *A*, движущейся вдоль троса, находящегося под натяжением груза *P* (рис. 151).

Изгиб троса происходит в этом случае в противоположные стороны. Величина усилия, действующего на трос, составляет некоторую долю от разрывного усилия троса, причем чем больше усилие, тем трос при испытании скорее разрушается. Обычно разрушение начинается с обрыва одной проволоки троса, далее быстро происходят обрывы следующих проволок и трос разрушается.

Рис. 151.

Число перегибов, которое выдерживает без разрушения данный трос, зависит от диаметра ролика. Чем больше диаметр ролика и чем меньше число перегибов троса, тем больше срок службы троса.

Практика работы тросов шахтных подъемников показывает, что отношение диаметра ролика (шкива) к диаметру каната (троса) должно быть выбрано не менее пятидесяти, т. е.

$$\frac{D}{d} \geq 50,$$

где *D* — диаметр ролика (шкива);
d — диаметр троса.

Канавка обода ролика должна иметь радиус, обеспечивающий хорошую подгонку троса. Обычно радиус канавки, для достижения хорошей пригонки троса, должен быть на 1 мм больше диаметра троса.

Смазанные или оцинкованные тросы меньше подвержены износу на изгибах, в связи с чем как смазка, так и оцинковка тросов весьма желательны с целью увеличения срока службы тросов.

Тросы с жестким сердечником, как менее гибкие, обладают и меньшим сроком службы при перегибах. При сращивании гибких тросов, органические сердечники в месте сращивания удаляются и заменяются

стальной пряжью, в результате чего срок службы гибкого троса при перегибах в месте сrostка уменьшается.

Срок службы тросов может быть определен с достаточной для эксплуатации точностью в лабораторных условиях, причем это определение должно быть выполнено для каждой партии троса отдельно.

Кроме данных, предопределяющих срок службы троса, на основании лабораторных испытаний могут быть выявлены отдельные дефекты троса, к которым относятся: 1) сильные помятости (сплющивание); 2) резкие изломы; 3) барашки; 4) обрывы проволок; 5) коррозия троса; 6) нарушение свивки троса и другие.

Участки троса с дефектами обычно вырубаются, после чего концы троса сращиваются. Если дефектных участков много, то подобный трос бракуется.

Особое внимание надо обращать на обрывы проволок. Обрыв отдельной проволоки в многопроволочном тросе, происшедший в результате местного механического повреждения, неопасен для троса; оборванная проволока уже на расстоянии 150 мм от места обрыва продолжает воспринимать на себя нагрузку. Обрыв проволоки, возникший в результате износа или перегрузки троса, имеет более серьезное значение; через сравнительно короткий срок эксплуатации такого троса может произойти обрыв еще ряда проволок, что, в конечном счете, приведет к обрыву всего троса в целом. Большое значение может иметь также перегрузка троса, которая может иметь место при неблагоприятных условиях эксплуатации. Под перегрузкой обычно подразумевают усилие в тросе, превышающее по своей величине расчетное. После имевшей место перегрузки трос должен быть взят под тщательное наблюдение. Если же величина перегрузки была выше, чем предел пропорциональности троса, то последний должен быть изъят из эксплуатации.

Глава VI

ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ АЭРОСТАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

25. Испытание оболочек

В условиях эксплуатации аэростатов часто приходится решать вопросы, связанные с определением степени пригодности материальной части для дальнейшей службы. В большинстве случаев решение этих вопросов сводится к определению физико-механических свойств аэростатных материалов.

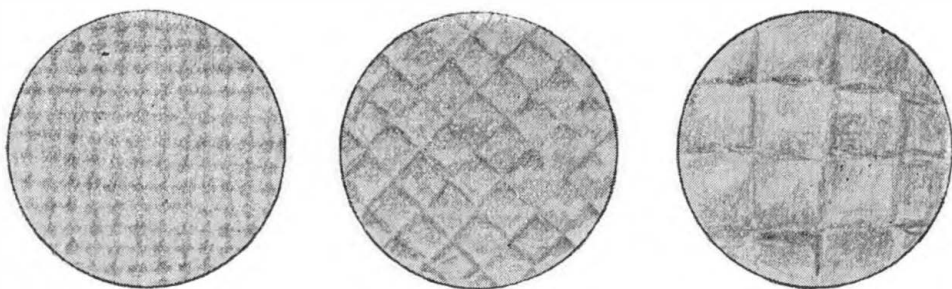


Рис. 152.

Наиболее часто возникает необходимость в проведении испытаний баллонной материи оболочки. Обычно оболочка подвергается предварительному внешнему осмотру и обнаруженные дефектные места отмечаются. Внешний вид баллонных материй, потерявших свои первоначальные свойства после эксплуатации, достаточно резко отличаются от внешнего вида новых материй. Для оценки состояния баллонной материи по ее внешнему виду весьма целесообразно использовать микроскопический метод исследования.

На рис. 152 показан вид новой баллонной материи со стороны ткани при увеличении от 25 до 80 раз. На рисунке отчетливо виден характер переплетения нитей, соответствующий обычному переплетению исходной ткани.

На рис. 153 показан вид новой баллонной материи со стороны защитного слоя материи, окрашенного алюминиевым порошком. На рисунке виден сплошной достаточно равномерный слой без просвечивания нитей ткани.

Вид баллонных материй, имеющих признаки разложения, показан на рис. 154, где изображена поверхность баллонной материи со стороны ткани¹. Переплетение нитей в этом случае не имеет резкого правильного очертания, пятна от разложения газодержащего слоя, расположен-



Рис. 153.

ного непосредственно за тканью, затемняют характер переплетения. Между переплетениями нитей основы и утка явно заметен газодержащий слой.

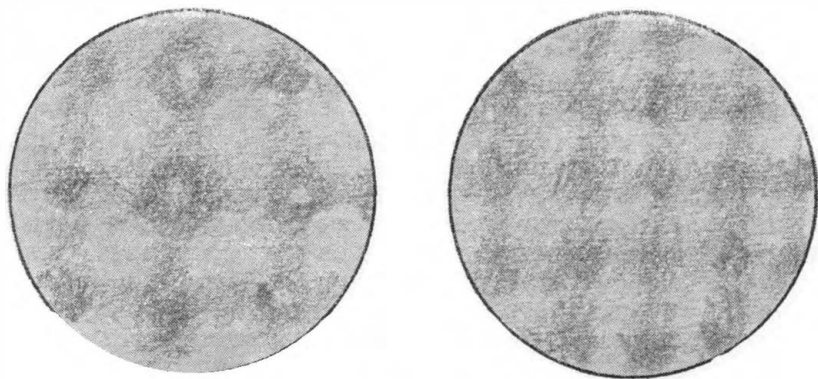


Рис. 154.

На рис. 155 показан наружный защитный слой баллонной материи после определенного срока эксплуатации. На поверхности наблюдается неравномерная пятнистость, иногда заметны переплетения нитей верхнего защитного слоя ткани.

Для проведения испытания оболочки с целью определения прочности и деформации баллонной материи предварительно из оболочки вырезают отдельные места, размером $0,5 \times 0,5$ м.

Вырезанные из оболочки участки баллонной материи используются для заготовки полосок (рис. 156). Ширина полоски составляет 50 мм, длина — 450 мм. Концы полосок заклеиваются так, как это показано на

¹ Баллонная материя будет иметь такой внешний вид лишь при газодержащем резиновом слое на основе натурального каучука.

рис. 156, с образованием пазух, через которые могут быть пропущены деревянные или металлические стержни. В средней части полосок наносятся две риски на расстоянии 200 мм друг от друга. Для испытания материи на прочность и деформацию полоска нагружается последовательно заранее приготовленными гирями или мешочками с балластом. При каждом добавлении груза измеряется расстояние между рисками с точностью до 0,5 мм. По результатам испытания строится диаграмма зависимости растяжения баллонной материи от нагрузки. При проведении испытания не всегда точно может быть определен предел прочности материи, так как нагрузка производится определенными порциями и последняя порция грузов, приводящая образец к разрушению, может быть несколько

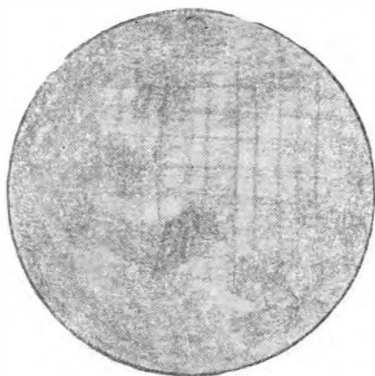


Рис. 155.

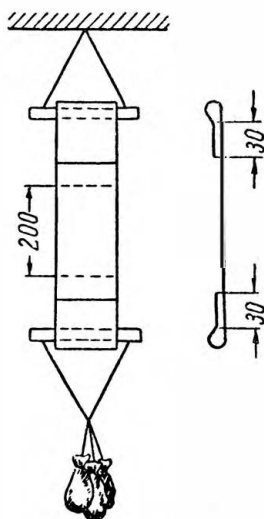


Рис. 156.

преувеличенной. В этом случае, после нагружения образца до 75% от разрывного усилия полоски (известного по формуляру для новой материи) рекомендуется продолжать нагружение более мелкими грузами.

Концы образца заклеиваются резиновым клеем, причем промазка производится три раза при условии полного высыхания клея после каждой промазки. После трехкратного промазывания места склейки прикатываются роликом. Образец испытывается через сутки после склеивания. Образцы изготавливаются по основе и утку в трех или более экземплярах для каждого направления. В качестве результатов используются средние значения испытаний всех полосок отдельно по основе и утку.

С целью определения точности полевого метода испытаний баллонных материй и сравнимости результатов, полученных по полемому методу, с результатами испытания материй на разрывных машинах, были проведены специальные исследования. Было выяснено, что диаграммы растяжения баллонных материй, полученные с помощью разрывных машин и одновременно по методу нагружения грузами, мало отличаются друг от друга при условии, что общая продолжительность испытания по методу последовательного нагружения превышает не более, чем в 4—5 раз время испытаний аналогичного образца на разрывной машине.

Сравнение диаграммы растяжения новой баллонной материи с диаграммой растяжения той же материи, вырезанной из оболочки находившегося в эксплуатации аэростата, показывает различие в деформациях при одинаковых напряжениях в материи.

На рис. 157 приведены результаты механических испытаний двухслойной баллонной материи. Первоначально получены диаграммы растяжения по основе и утку новой баллонной материи, доведенной до разрушения. Следующие образцы этой же материи нагружались до половинного значения предела прочности материи. Диаграмма растяжения этих образцов почти совпадает с начальной диаграммой. Если образцы материи после первого нагружения подвергнуть вторичному нагружению, то наблюдается заметное уменьшение деформаций по отношению, деформациям, полученным при первом нагружении. При третьем нагружении этого же образца, полученные деформации почти одинаковы с деформациями при втором нагружении.

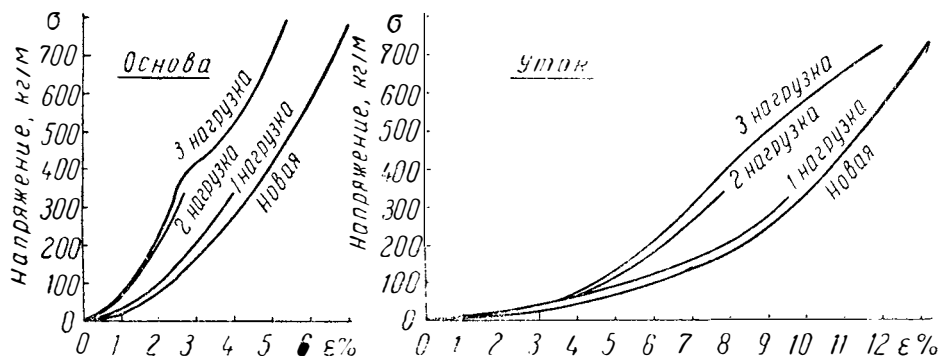


Рис. 157.

Если образцы при третьем нагружении довести до разрушения, то полученная диаграмма растяжения имеет иную форму, чем диаграмма растяжения материи при первоначальном нагружении. При испытании образцов диагонально-дублированных баллонных материй необходимо обращать внимание и на характер разрыва. При разрушении хорошо сохранившейся диагонально-дублированной материи разрыва образца в прямом смысле не происходит, а разрушается лишь параллельный слой ткани, диагональный же слой ткани до некоторой степени сохраняется в целом виде. Если же наружный диагональный слой ткани за период эксплуатации потерял значительную часть своей первоначальной прочности, то при испытании полосы такой материи на разрыв, разрушение образца происходит путем прямого разрыва, как и образца однослойной материи, т. е. образец материи разрывается на две части. В этом случае часто наблюдается, что хотя потеря прочности баллонной материи сравнительно невелика, составляя всего лишь 5—10% от первоначальной прочности, т. е. материя по прочности еще далека от нормы забракования, но характер подобного разрыва указывает, что диагональный слой ткани перестал оказывать сопротивление раздиранию материи и воспринимать касательные напряжения. За оболочкой, материя которой обнаруживает подобные свойства, необходимо установить наблюдение и тщательно заделывать обнаруживаемые в ней проколы и отверстия.

Кроме испытаний на прочность и деформацию, баллонные материи оболочек аэростатов должны подвергаться в полевых условиях испытаниям на газопроницаемость. Методы испытаний баллонных материй на газопроницаемость приведены в главе IV. При проведении испытаний оболочки аэростата, ненаполненной газом, нижний диск прибора (рис. 137) устанавливается внутри оболочки. Намеченные заранее для

испытаний на газопроницаемость места оболочки накладываются на установленный внутри оболочки нижний диск прибора и снаружи прикрываются верхним диском прибора. При испытании на газопроницаемость наполненных газом оболочек аэростатов прибор размещается согласно схеме, указанной на рис. 141.

При большом числе оболочек аэростатов, находящихся в эксплуатации, следует рекомендовать способ определения газопроницаемости, исходя из определения суточной потери чистоты газа и отношения поверхности оболочки к ее объему. Определение газопроницаемости оболочки в этом случае производится по графику 142. Определение чистоты газа не представляет особых затруднений даже при отсутствии приборов и может быть выполнено с помощью методов, указанных в третьей части данной работы.

26. Испытание веревок

В полевых условиях испытания веревочного такелажа (веревки) не представляет затруднений. Из веревки изготавливается образец, внешний вид которого приведен на рис. 158. Образец подвешивается за верхний

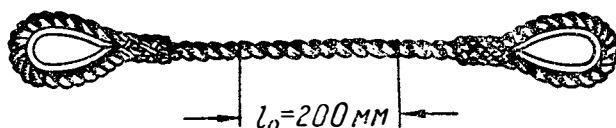


Рис. 158.

коуш, а на нижний коуш постепенно подвешиваются грузы в виде заранее взвешенных мешков с балластом. В средней части образца отмечается расчетный участок l_0 , длиной в 200 мм. Относительное удлинение в процентах определяется по формуле:

$$\epsilon\%_0 = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100,$$

где l_1 — длина расчетного участка, измеряемая при каждом увеличении нагрузки.

На основании произведенных испытаний строится диаграмма растяжения веревки, по которой можно судить о качестве веревки.

Большое внимание должно быть обращено на проведение испытаний веревок, предназначенных для замены веревочного такелажа, установленного на аэростате.

Веревоочный такелаж, имеющийся на оболочке аэростата, является декатированным в то время, как запасные веревки, приложенные к оболочке, как правило, не декатированы. Если в процессе эксплуатации необходимо заменить спуск или стропу веревочного такелажа оболочки, то веревка должна быть предварительно декатирована.

Допустим, что вторые спуски левой стороны веревочного такелажа аэростата (рис. 159) повреждены и необходимо произвести их замену. На складе имеется новая недекатированная веревка того же диаметра. Режим декатировки спусков и строп веревочного такелажа в формуляре аэростата не указан. Для того чтобы произвести замену, необходимо знать диаграмму растяжения веревок, из которых изготовлен такелаж. Для этой цели следует рекомендовать произвести испытание на растя-

жение вторых спусков, снятых с правой стороны оболочки, причем при этих испытаниях растягивающее усилие не должно превышать $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ от разрушающего веревку усилия.

На рис. 160 приведена схема проведения испытания второго спуска, которое производится без выреза образцов из спусков. Для этой цели

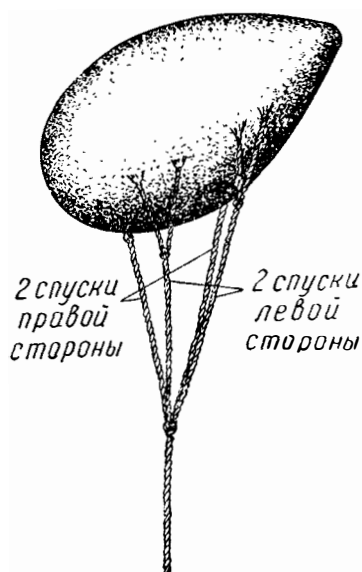


Рис. 159.

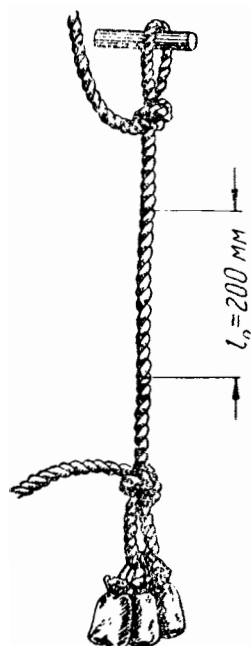


Рис. 160.

на втором спуске завязываются два узла (гусиная лапка), причем верхний узел закрепляется на неподвижной опоре, а к нижнему узлу подвешивается постепенно увеличивающийся груз (мешки с балластом). В средней части спуска отмечается рабочий участок, длина которого и измеряется с каждым увеличением нагрузки. Так как растягивающее усилие не должно превышать $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ разрушающего усилия, то повреждение веревки в узловых соединениях не происходит.

Допустим, что в результате такого испытания получена диаграмма растяжения, приведенная на рис. 161.

Эта диаграмма показывает, что площадь гистерезиса незначительная и остаточное удлинение мало. Необходимо для замены вторых спусков веревочного такелажа левой стороны подобрать веревку, обладающую теми же механическими характеристиками.

Допустим, что при испытании новой веревки, находящейся на складе, получена диаграмма растяжения, приведенная на рис. 162 (1), причем предполагается, что испытание произведено по тому же самому режиму, как и в случае испытания второго спуска веревочного такелажа аэростата.

В отличие от полученной ранее диаграммы растяжения, диаграмма рис. 162 свидетельствует о наличии большого гистерезиса и значительном остаточном удлинении. Следовательно, новую веревку использовать непосредственно для изготовления второго спуска такелажа нельзя. Если веревку, находящуюся на складе, подвергнуть декатировке по режиму,

предусматривающему предварительное растяжение при нагрузке в $1/20$ или $1/10$ от разрушающей, то после соответствующих испытаний могут быть получены диаграммы растяжений, указанные на рис. 162 (2, 3).

Из сравнения диаграммы растяжения рис. 162 (3) с диаграммой растяжения рис. 161 следует, что эти диаграммы близки друг к другу, в связи с чем можно сделать вывод о необходимости проведения декатировки новой веревки под нагрузкой в $1/10$ от разрывного усилия, после чего данная веревка может быть использована для изготовления второго спуска левой стороны веревочного такелажа азростата.

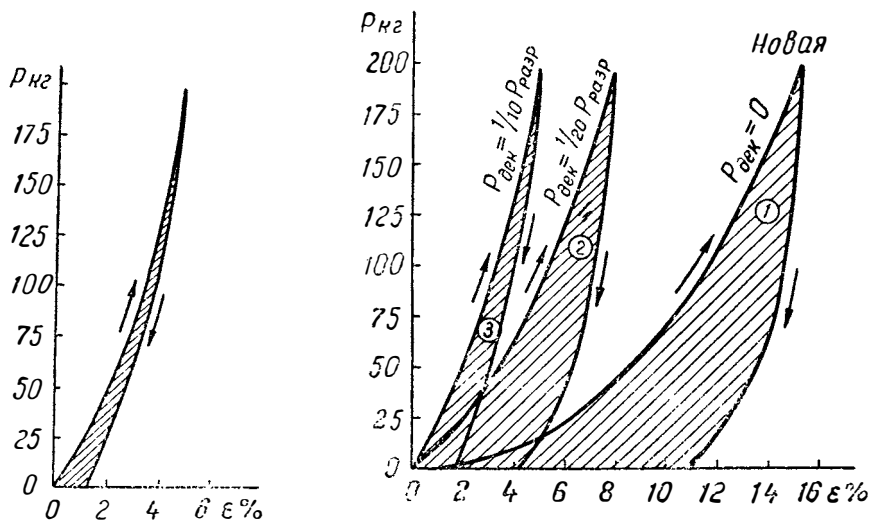


Рис. 161.

Рис. 162.

27. Испытание тросов

В полевых условиях испытание проволочных канатов (тросов) производится в редких случаях. Обычно забракование троса в эксплуатации происходит по признакам, указанным в главе V, не требующим проведения испытаний троса. В очень редких случаях инженеру приходится считаться с необходимостью произвести испытания троса для выявления его основных механических свойств. Для проведения испытания троса в полевых условиях предварительно готовится образец троса с заделанными в конце образца коушами, аналогичный образцу для испытания веревок, с той лишь разницей, что расчетный участок образца выбирается равным не 200 мм, а 1000 или 1500 мм. Дальнейшие испытания производятся обычным порядком, как и испытания веревок.

28. Испытание резиновых амортизаторов

Испытание резиновых амортизаторов в полевых условиях не представляет особых затруднений. Основная сущность испытаний амортизаторов в полевых условиях заключается в определении потери потенциальной энергии, которая может быть накоплена в единице объема, по отношению к новым амортизаторам. Для этой цели по экспериментальным данным строится диаграмма растяжения и стягивания амортизатора,

по диаграмме определяется общая работа стягивания и вычисляется потенциальная энергия, отнесенная к единице объема резины. Метод испытаний и приемы расчета подробно изложены в третьей главе данной работы. Испытания амортизаторов должны производиться в полевых условиях при температуре не ниже 0°C .

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1

Выдержка из стандарта

Наименование	ГОСТ	Артикул	Вес г/м ²	Ширина в см	Плотн., число нит., 10 см.		Сопр. разрыву в кг/м		Удлинен. при разрыве в %	
					основа	уток	основа	уток	основа не мен.	уток не более
					не менее		не менее			
Перкаль Б - 2	694—41	1791	61+2	89	424	480	500—20	500—40	7—2,5	10+3
		820	61+2	111	424	480	500—20	528	7—2,5	10+3
Перкаль Б - 1 (для баллонной материи)	1102—43	1791	не более	89	424	480	520	520	5	не менее
		820	65	111	424	480	520	520	5	8
Шелковое полотно 7324	ВТУ 294	1507	38	94	480	300	440	440	11	11
		1516	45	88	—	—	820	640	20	не менее 20
Перкаль А	694—41	817	100	135	476	456	900	840	8	17
Перкаль А-1			97	88 135	476	456	900	860	8	17

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2
Выдержка из стандарта

МАТЕРИИ ПРОРЕЗИНЕННЫЕ №№ 500, 502, 503, 590 и 601
РПТУ 1205

Утверждено 18/XII 1943 г. Срок введения 18/XII 1943 г.

I. Определение

1. Прорезиненные материи №№ 500, 502, 503, 590 и 601 применяются для изготовления баллонных изделий: на газодержащую поверхность, стабилизаторы и лепточки для усиления швов.

2. Изготовление материй производят по действующим на заводе технологическим картам.

II. Технические условия

Физико - механические свойства материй должны быть следующие:

№ материи	Ширина см	Вес 1 м ² г	Газопроницаемость в л. с 1 м в течение 24 час при температуре 15° не более	Сопротивление разрыву кг не менее	
				по основе	по утку
500	85—108	250—270	12	530	500
502	120—135			440	440
503	120—135			440	440
590	85—108	не более 150	750	480	460

4. По внешнему виду материи должны соответствовать утвержденным на заводе эталонам.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 3

ПРИМЕНЯЕМЫЕ АМОРТИЗАТОРЫ

Шнур амортиз.	Диаметр в мм	Вес пог. м. в г не более	Коэффициент мороз. при 45° С не менее	Удлинение в % при нагр. в кг не более			
				1	2	3	7
АН оплетенный	8—9	55	0,6		85		320
АЗ оплетенный	5—6	26	0,6	110		280	
АН нарезной	35—40 мм ²		0,6		85		320
АЗ нарезной	15—20 мм ²		0,6	110		280	

УДЕЛЬНАЯ ПОДЪЕМНАЯ СИЛА ВОДОРОДА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ

Темпе- ратура	Ч и с т о т а												
	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91	90	89	88
300	1,084	1,073	1,063	1,052	1,040	1,030	1,019	1,008	0,997	0,986	0,976	0,964	0,953
28	1,091	1,080	1,070	1,059	1,047	1,037	1,026	1,015	1,004	0,993	0,982	0,970	0,960
26	1,099	1,088	1,077	1,066	1,054	1,044	1,033	1,022	1,010	1,000	0,989	0,978	0,967
24	1,106	1,095	1,084	1,073	1,061	1,051	1,040	1,029	1,017	1,006	0,996	0,985	0,974
22	1,114	1,103	1,092	1,081	1,069	1,058	1,047	1,036	1,024	1,013	1,002	0,991	0,980
20	1,124	1,110	1,098	1,087	1,076	1,065	1,054	1,043	1,031	1,020	1,009	0,997	0,985
18	1,128	1,117	1,106	1,095	1,084	1,072	1,061	1,050	1,038	1,026	1,016	1,004	0,992
16	1,136	1,125	1,114	1,102	1,091	1,080	1,068	1,057	1,045	1,033	1,022	1,011	0,999
14	1,144	1,133	1,121	1,110	1,098	1,087	1,076	1,064	1,052	1,041	1,030	1,019	1,006
12	1,153	1,142	1,131	1,119	1,107	1,095	1,083	1,071	1,060	1,048	1,037	1,025	1,013
10	1,161	1,149	1,137	1,125	1,113	1,102	1,090	1,079	1,067	1,056	1,044	1,032	1,020
8	1,168	1,156	1,144	1,132	1,121	1,110	1,098	1,086	1,074	1,063	1,052	1,040	1,028
6	1,177	1,165	1,153	1,141	1,129	1,118	1,106	1,094	1,082	1,070	1,059	1,047	1,035
4	1,185	1,173	1,161	1,149	1,137	1,126	1,114	1,102	1,090	1,078	1,067	1,055	1,043
2	1,195	1,183	1,171	1,159	1,147	1,135	1,123	1,111	1,099	1,087	1,075	1,063	1,051
0	1,203	1,191	1,179	1,167	1,155	1,143	1,131	1,119	1,107	1,095	1,083	1,071	1,059
— 2	1,212	1,200	1,188	1,176	1,164	1,152	1,140	1,128	1,116	1,104	1,091	1,079	1,067
— 4	1,221	1,209	1,197	1,185	1,173	1,160	1,148	1,136	1,124	1,112	1,099	1,087	1,075
— 6	1,230	1,218	1,206	1,193	1,180	1,168	1,156	1,144	1,132	1,120	1,107	1,095	1,083
— 8	1,239	1,227	1,215	1,202	1,190	1,177	1,165	1,153	1,140	1,128	1,115	1,103	1,090
—10	1,248	1,236	1,223	1,210	1,198	1,186	1,174	1,162	1,150	1,137	1,124	1,112	1,100
—12	1,258	1,245	1,232	1,220	1,208	1,195	1,182	1,170	1,157	1,145	1,132	1,119	1,106
—14	1,268	1,256	1,243	1,231	1,218	1,205	1,192	1,179	1,167	1,154	1,141	1,129	1,116
—16	1,278	1,266	1,253	1,246	1,227	1,214	1,202	1,190	1,177	1,164	1,151	1,139	1,126
—18	1,288	1,275	1,262	1,249	1,236	1,223	1,210	1,198	1,185	1,172	1,159	1,147	1,134
—20	1,298	1,285	1,272	1,259	1,246	1,233	1,220	1,207	1,194	1,181	1,168	1,155	1,142
—22	1,308	1,295	1,282	1,269	1,256	1,243	1,229	1,216	1,203	1,190	1,177	1,164	1,151
—24	1,319	1,306	1,293	1,280	1,266	1,253	1,240	1,226	1,213	1,200	1,187	1,173	1,160
—26	1,329	1,316	1,303	1,290	1,276	1,263	1,250	1,236	1,223	1,210	1,197	1,183	1,170
—28	1,341	1,327	1,313	1,300	1,287	1,274	1,260	1,246	1,233	1,220	1,207	1,193	1,180
—30	1,352	1,339	1,325	1,312	1,298	1,284	1,271	1,257	1,244	1,230	1,217	1,204	1,190

ЧИСТОТЫ ГАЗА И ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ДАВЛЕНИИ 760 мм НД

г а з а в %								Поправочные коэффициенты на давление					
87	86	85	84	83	82	81	80	давление мм НД	коэффициент	давление мм НД	коэффициент	давление мм НД	коэффициент
0,943	0,932	0,921	0,910	0,900	0,889	0,878	0,867						
0,950	0,939	0,928	0,917	0,906	0,895	0,894	0,873						
0,956	0,945	0,934	0,923	0,912	0,901	0,890	0,879	700	0,934	751	0,988	779	1,025
0,963	0,951	0,940	0,929	0,918	0,907	0,896	0,885	710	0,941	752	0,990	780	1,026
0,969	0,958	0,947	0,935	0,924	0,913	0,902	0,891	720	0,947	753	0,991	781	1,028
0,975	0,964	0,953	0,942	0,930	0,919	0,908	0,897	722	0,950	754	0,992	782	1,029
0,981	0,970	0,959	0,948	0,937	0,926	0,914	0,903	724	0,953	755	0,993	783	1,030
0,988	0,977	0,966	0,955	0,944	0,932	0,920	0,909	726	0,955	756	0,995	784	1,032
0,996	0,984	0,973	0,961	0,950	0,939	0,927	0,916	728	0,958	757	0,996	785	1,033
1,001	0,990	0,978	0,967	0,956	0,945	0,934	0,922	730	0,961	758	0,998	786	1,034
1,010	0,998	0,986	0,974	0,962	0,950	0,938	0,927	731	0,962	759	0,999	787	1,035
1,016	1,004	0,998	0,981	0,969	0,957	0,946	0,935	732	0,963	760	1,000	788	1,037
1,023	1,011	1,000	0,988	0,976	0,964	0,953	0,942	733	0,965	761	1,001	789	1,038
1,031	1,019	1,007	0,995	0,983	0,971	0,959	0,948	734	0,966	762	1,003	790	1,039
1,039	1,027	1,015	1,003	0,991	0,979	0,967	0,956	735	0,967	763	1,004	792	1,042
1,049	1,035	1,023	1,011	1,000	0,988	0,976	0,964	736	0,968	764	1,005	794	1,045
1,055	1,043	1,030	1,018	1,006	0,994	0,982	0,970	737	0,970	765	1,007	795	1,047
1,063	1,051	1,038	1,026	1,014	1,002	0,990	0,977	738	0,971	766	1,008	798	1,050
1,070	1,058	1,045	1,033	1,020	1,008	0,996	0,984	739	0,972	767	1,009		
1,078	1,065	1,053	1,040	1,028	1,016	1,004	0,991	740	0,974	768	1,011		
1,087	1,074	1,061	1,049	1,037	1,025	1,012	0,999	741	0,975	769	1,012		
1,094	1,081	1,069	1,056	1,043	1,030	1,018	1,006	742	0,976	770	1,013		
1,103	1,091	1,078	1,066	1,054	1,041	1,028	1,015						
1,113	1,100	1,087	1,075	1,062	1,049	1,036	1,023	743	0,978	771	1,015		
1,121	1,108	1,095	1,082	1,069	1,056	1,043	1,030	744	0,979	772	1,016		
1,129	1,116	1,103	1,090	1,077	1,064	1,051	1,038	745	0,980	773	1,017		
1,138	1,125	1,112	1,098	1,085	1,072	1,059	1,046	746	0,982	774	1,018		
1,147	1,134	1,121	1,107	1,094	1,081	1,068	1,055	747	0,983	775	1,020		
1,156	1,143	1,130	1,117	1,104	1,090	1,077	1,064	748	0,984	776	1,021		
1,166	1,153	1,140	1,126	1,113	1,100	1,086	1,073	749	0,986	777	1,022		
1,177	1,163	1,149	1,136	1,123	1,109	1,095	1,081	750	0,987	778	1,024		

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н. П. Полозов, М. А. Сорокин, Воздухоплавание. Воениздат, НКО СССР, 1940.
 2. В. И. Боголюбский, И. М. Голубев, И. И. Амитин, Проволочные канаты, Металлургиздат, 1950.
 3. Проф. И. Грабок, Проволочные канаты, Главметиз, ОНТИ, 1936.
 4. Х. Э. Малкина, Общая технология резинового производства, Госхимиздат, 1952.
 5. Б. А. Левкович, Н. Б. Сорокин, Н. Г. Гулидов, И. И. Хохлов, П. В. Байдюк, Первичная обработка хлопка, Гизлегпром, 1950.
 6. Н. П. Полозов, С. А. Рейтлингер, Аэростатные газы, Издание ВВИА, 1948.
 7. Н. Насекин, Е. Фридбург, П. Беленкова, Микроскопические и физико-механические исследования волокнистых материалов, Гизлегпром, 1934.
 8. Н. П. Полозов, Баллонные материи и такелаж, ОНТИ, 1934.
 9. С. А. Рейтлингер, Газопроницаемость высокомолекулярных соединений, Успехи химии, Издание АН СССР, 1951.
 10. Проф. Архангельский, Учение о волокнах, Гизлегпром, 1935.
 11. Гааз и Дициус, Растяжение материи и деформация мягких воздушных кораблей, 1912.
 12. А. С. Константинов и А. М. Гаврилов, Текстильные материалы в самолетостроении, 1940.
 13. И. И. Амитин, М. А. Букштейн, А. М. Герцберг, Проволочные канаты, 1931.
 14. Проф. В. В. Линде и доц. П. А. Осипов, Технология шелка, Гизлегпром, 1951.
 15. Н. А. Архангельский, Швейное материаловедение, Гизлегпром, 1933.
-

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Волокнистые вещества	8
1. Хлопок	9
2. Лен	13
3. Конопля	15
4. Другие растительные волокна	16
5. Натуральный шелк	—
6. Капроновое волокно	21
Глава II. Краткая технология изготовления аэростатных материалов	
7. Изготовление хлопчатобумажных тканей	23
8. Изготовление шелковых тканей	32
9. Изготовление баллонных материй	33
10. Изготовление аэростатных канатов (тросов)	48
11. Изготовление веревочных изделий для аэростатов и парашютов	56
12. Изготовление резиновых амортизаторов	60
Глава III. Применение прикладной теории упругости к аэростатным материалам	
13. Растяжение тканей и баллонных материй	63
14. Растяжение проволочных канатов	87
15. Растяжение веревок	98
16. Растяжение резиновых амортизаторов	103
Глава IV. Специальные исследования аэростатных и парашютных материалов	
17. Испытание тканей на воздухопроницаемость	111
18. Исследование проницаемости баллонных материй	114
19. Определение чистоты газа	133
20. Испытание тканей и баллонных материй на пневматической установке	143
Глава V. Сроки службы и нормы забракования аэростатных материалов	
21. Баллонные материи и ткани	146
22. Веревоочный такелаж	150
23. Резиновые амортизаторы	—
24. Тросы	152
Глава VI. Полевые испытания аэростатных материалов	
25. Испытание оболочек	154
26. Испытание веревок	158
27. Испытание тросов	160
28. Испытание резиновых амортизаторов	—

Приложения:

1. Выдержка из стандарта	162
2. Материи прорезиненные № 500, 502, 503, 590, и 601 РПТУ 1205	163
3. Применяемые амортизаторы	—
4. Удельная подъемная сила водорода в зависимости от чистоты газа и от температуры при давлении 160 мм НД	164—165
Перечень использованной литературы	166

Редактор С. А. РЕЙТЛИНГЕР

Технический редактор Г. Н. НИКИТИН

Корректор А. И. ЛАДЫГИНА

Г -476236

Разрешено к печати 10/Х—53

Изд. 1105

Зак. 268

формат бумаги 70 × 108 ¹/₁₆ 5,25 бум. лист. = 14,4 печ. л.

Типография ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского

О П Е Ч А Т К И

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
137—142	В формулах	в значении удельной подъемной силы в фор- мулах напечатано Φ	в значении удельной подъемной силы в фор- мулах должно быть ϕ

Н. П. Полозов

