

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

В. А. Барвинок, А. С. Горячев, Ю. В. Федотов

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
МОНТАЖА И ИСПЫТАНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ
БАКОВ-ЕМКОСТЕЙ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Учебное пособие

КУЙБЫШЕВ 1988

Методы и средства монтажа и испытаний в производстве баков-емкостей летательных аппаратов: Учебн. пособие / В. А. Барвинок, А. С. Горячев, Ю. В. Федотов; Куйбышевский авиационный институт, Куйбышев, 1988. — С. 68.

Изложены технологические основы сборки-монтажа баков и емкостей, относящихся к топливно-энергетической системе летательных аппаратов, особенности испытания их на прочность и герметичность, рассмотрены вопросы обеспечения чистоты и заданного объема, применяемое при этом оборудование, оснастка, организация производственных участков и техники безопасности при работе с высоким давлением и горючесмазочными материалами. Рассмотрены инженерные методики определения негерметичности баков и емкостей применительно к существующим методам.

Работа предназначена для студентов дневного и вечернего обучения.

Табл. 3 .Ил. 29. Библиогр.: 8 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета института

Рецензенты: доц. Н. Д. Проничев, инж. Б. П. Пиганов

ВВЕДЕНИЕ

Одними из наиболее характерных и ответственных элементов конструкции летательных аппаратов являются баки и емкости различного назначения, которые представляют собой тонкостенные герметичные сосуды, подвергающиеся внутреннему давлению. Условия их работы характеризуются наличием длительного или кратковременного, однократного или многократного внутреннего давления при нормальной, высокой или очень низкой температуре, часто в контакте с агрессивными средами. Кроме того, они подвергаются различным внешним воздействиям, динамическим инерционным нагрузкам, вибрациям, во многих случаях аэродинамическому нагреву и т. д. В летательных аппаратах они занимают от 25 до 30% и более объема и массы, представляя во многих случаях кроме полезной нагрузки основу их конструкции. Все это обусловило выделение их в отдельное специфическое производство при изготовлении летательных аппаратов.

В зависимости от назначения конструктивное исполнение баков и емкостей многообразно, что вносит определенные отличия в технологические процессы, средства изготовления, методы испытания и контроля и т. д. В отечественной и зарубежной литературе дается разрозненная информация по изготовлению баков и емкостей, применяемых в летательных аппаратах, поэтому задачей авторов является обобщение существующих материалов.

Учебное пособие рассчитано на студентов технологической и конструкторской специализаций, может быть использовано при изучении курса «Технология сборочных и монтажно-испытательных процессов в производстве летательных аппаратов», а также при выполнении курсовых и дипломных проектов.

1. ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Двигательная установка (ДУ) летательного аппарата (ЛА) — это функционально-конструктивная совокупность агрегатов, систем, устройств и элементов, обеспечивающих работу двигателей как в режиме двигателей ЛА, так и в качестве исполнительной части органов управления. В подавляющем большинстве созданных и находящихся в эксплуатации ЛА используют жидкостные ракетные двигатели (ЖРД), которые обеспечивают наилучшие энергетические и массовые характеристики ЛА, несмотря на их конструктивную сложность [1, 4]. Совокупность агрегатов ЖРД составляют: камеры сгорания с соплом, турбонасосный агрегат, газогенератор, пусковое устройство и т. д. Элементы систем двигательной установки и элементы вспомогательных устройств, предназначенные для обеспечения нормального функционирования двигателей, их состав и функциональные особенности определяются:

- физико-химическими характеристиками компонентов топлива и необходимостью их термостатирования;
- требованиями по подготовке ЛА к пуску;
- условиями эксплуатации ЛА;
- особенностями двигателя;
- особенностями конструкции и условиями длительного хранения;
- требованиями по обеспечению минимальных топливных остатков;
- требованиями, обусловленными возможными аварийными ситуациями.

По функциональному признаку системы ДУ делятся на две группы: первая — системы, обеспечивающие работу двигателя в полете (системы питания основных и рулевых двигателей, наддува топливных баков, опорожнения баков, продувки двигателя и др.); вторая — технологические системы, функционирующие в период подготовки ЛА к пуску (системы заправки и сли-

ба, термостатирования и барботирования компонентов топлива, циркуляции, захлаживания двигателя и др.).

Вспомогательные пневмогидравлические системы ДУ включают:

систему управляющего давления, которая снабжает энергией сжатого газа все пневмогидравлические системы; эта система состоит из баллонов с газом высокого давления, трубопроводов и арматуры;

систему обеспечения температурного режима среды в отсеках ЛА, система может быть воздушной или жидкостной;

систему вентиляции и создания инертной среды в отсеках, служащую для обеспечения безопасности выполнения работ на заправленном ЛА в период его подготовки к пуску и в полете в целях предотвращения возникновения в них опасных концентраций паров горючего;

систему поддержания избыточного давления в баках с целью обеспечения целостности их конструкции;

систему поддержания избыточного давления в отдельных замкнутых полостях двигателя и его систем, служащую для исключения проникновения в них влаги;

систему расстыковки межблочных пневмогидравлических плат;

бортовую противопожарную систему и т. д.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ БАКОВ-ЕМКОСТЕЙ, ТРЕБОВАНИЯ К ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЮ, МАТЕРИАЛЫ БАКОВ

В зависимости от назначения конструкции баков многообразны [1]. По форме внешних обводов баки и емкости бывают цилиндрическими (редко коническими) со сферическими или эллиптическими днищами; сферическими, сваренными из двух полусфер; торовыми, которые иногда компоуются в пакеты и блоки торовых баков; эллиптическими, сваренными из двух эллиптических днищ; в последние годы появились эластичные сильфонные баки (рис. 21). По функциям, выполняемым в конструкции аппаратов, баки могут быть несущими, когда они являются корпусом аппарата, формирующим его обводы и воспринимающим нагрузки, приходящиеся на корпус аппарата, и подвесными, когда они помещаются внутри несущего корпуса аппарата. В космических аппаратах последние значительно распространены. По конструкции стенок баки могут быть с гладкими листовыми стенками без силового набора или с силовым набором сборной конструкции, со стенками из монолитных (на-

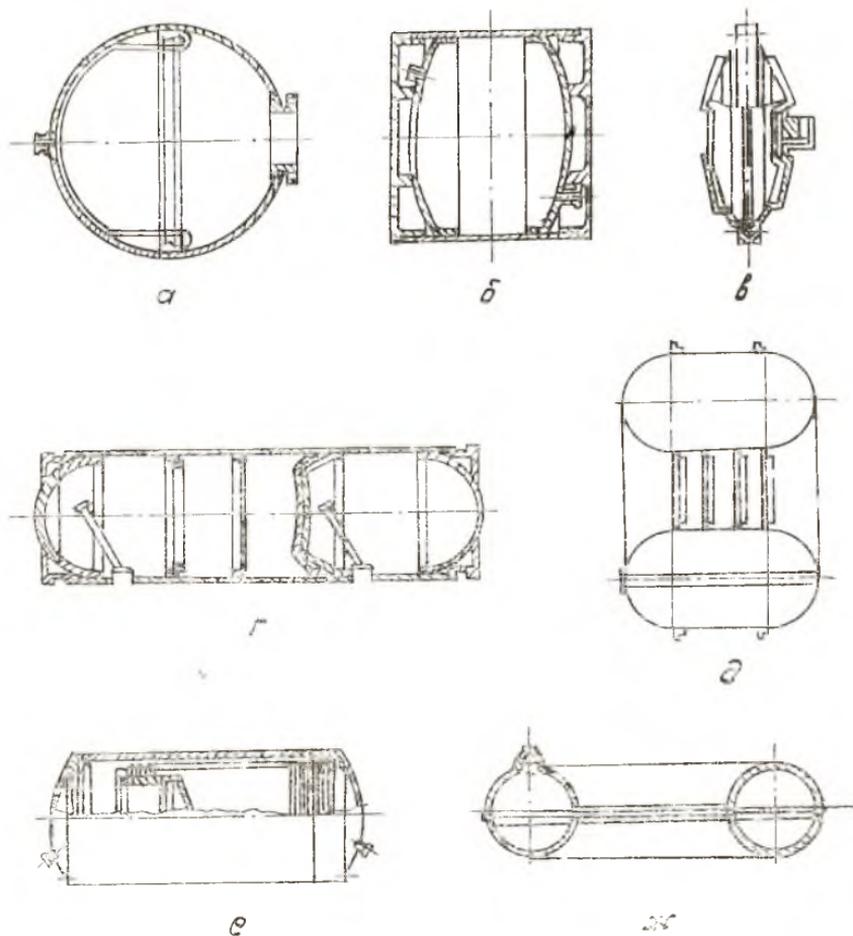


Рис. 2.1. Типы баков: а — сферический бак с вытеснителем; б — цилиндрический бак; в — чечевицеобразный бак; г — блок цилиндрических баков, д — торовый цилиндрический бак; е — бак с силосным вытеснителем; ж — торовый сферический бак

пример, вафельных или только с продольным набором) панелей, из различного типа слоистых панелей, которые иногда выполняют теплозащитные функции. Кроме того, в баках обычно имеется много различных конструктивных усложнений: промежуточные днища, мембранные вытеснители компонентов, перегородки, препятствующие завихрению компонента при подаче, фланцы, патрубки, кронштейны, датчики уровня, заборники и т. д., которые, как правило, усложняют изготовление и сборку.

Баки и емкости можно классифицировать по применяемым материалам, что существенно влияет на технологию их изготов-

ления. Требования к материалам баков и емкостей, особенно для космических аппаратов, весьма высоки и иногда даже противоречивы: они должны обладать высокой прочностью и жесткостью, удельной прочностью, противостоять как высоким, так и криогенным температурам, должны быть коррозионно-стойкими по отношению к компонентам топлива, иметь высокую плотность (непроницаемость) для обеспечения герметичности по стенкам, что особенно важно для емкостей, работающих в глубоком вакууме, и в то же время они должны обладать приемлемыми технологическими свойствами: пластичностью (штампруемостью), свариваемостью, хорошей обрабатываемостью резанием и т. д. Наиболее распространенными материалами для баков и емкостей являются деформируемые сплавы (АМгЗМ, АМг6, АМг6М, Д16АМ, Д20, АК-6, АК-8, В95АМ и т. д.), нержавеющие и высокопрочные стали (30ХГСНА, 12Х18Н9Т, 20Х1364Г9, 12Х18Н10Т, 15Х18Н12С4ТЮ, ВНС-2 и др.), титановые (ОТ-4, ОТ4-1, ВТ-6, ВТ-14 и др.), иногда магниевые сплавы (МА1-М, МА8-М), ряд других сплавов. В последнее время для емкостей высокого давления начинают находить применение никелевые (ХН60ВТ, ХН77ТЮР), молибденовые и бериллиевые сплавы.

Особую перспективную группу материалов для емкостей составляют неметаллические материалы (стеклопластики на различной основе, различные композиционные материалы). Иногда с целью массового выигрыша в одной конструкции бака применяют комбинации материалов для различных деталей; в этом случае необходимо согласовать коэффициенты линейного температурного расширения этих материалов.

Общими требованиями к бакам и емкостям являются [2]: высокая прочность и жесткость, особенно для несущих баков и емкостей высокого давления, вибропрочность и сохранение эксплуатационных качеств при циклических нагрузках; минимальная масса; герметичность не только по швам, но и самих материалов (герметичность по стенкам); стойкость против агрессивного воздействия компонентов; сохранение эксплуатационных качеств в широком диапазоне температур, иногда при циклическом температурном воздействии; простота и технологичность конструкции; обеспечение требуемой точности изготовления, назначенного ресурса; на внешних и внутренних поверхностях баков не допускаются повреждения, царапины, заусенцы, острые кромки, внутренние полости должны быть чистыми от стружки, металлических частиц и пыли, остатков обработки, что может нарушить работу клапанов, форсунок и т. п. Все эти и другие требования должны обеспечиваться как самой конструкцией баков и емкостей, так и соответствующей технологией и принятой системой контроля и испытаний.

3. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ СБОРКИ И МОНТАЖА ЕМКОСТЕЙ НИЗКОГО И ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Общая схема изготовления баков и емкостей состоит из этапа изготовления деталей и этапа сборки [1]. Характерные детали типовых конструкций баков и емкостей можно разделить по назначению на две группы. К первой группе относятся детали, входящие в силовую схему (корпус) бака: обечайки, шпангоуты, стыковочные кольца, стрингеры, днища, соединительные юбки, детали подвески баков. Ко второй группе относятся детали арматуры, обеспечивающие заправку бака или емкости и надежную подачу компонента: детали заборных устройств, датчиков уровней жидкости, клапанов, кронштейны, фланцы, заборники, штуцера, патрубки и т. д.

Обечайки являются одним из основных элементов цилиндрических и конических баков. Обечайки изготавливаются из листовых заготовок гибкой прокаткой в трехвалковых станках типа КГЛ или в четырехвалковых станках типа ГЛС. После чего производится сварка полученного полуфабриката по продольному шву. Во многих случаях после формообразующих и сварочных операций вводят операцию химического фрезерования с целью облегчения обечаек и образования усиления по сварным швам. Это обеспечивает равнопрочность конструкции по стенкам и швам. Обечайки двойной кривизны изготавливаются штамповкой, штамповкой взрывом, ротационной обработкой, обтяжкой и т. д. В последнее время, особенно для несущих крупногабаритных баков, обечайки изготавливают из монолитных и слоистых панелей. На этапе предварительной сборки (если бак состоит из нескольких обечаек) в обечайки устанавливают поперечные силовые элементы (шпангоуты, перегородки, кронштейны и т. д.). Сборка производится в специальных стапелях вследствие малой жесткости обечаек. После контроля швов и приварки всех арматурных деталей обечайка поступает на сборку бака.

Стыковочные и промежуточные шпангоуты корпусов баков предназначены для стыковки обечаек с днищами и с соединительными юбками. Они могут изготавливаться либо из катаных листов, либо из прессованных профилей на специальных профилегибочных станках. Шпангоуты значительных диаметров (более 1500 мм) обычно изготавливают из сегментов с последующей сваркой, отжигом и калибровкой. Промежуточные шпангоуты обычно подаются на сборку обечаек, а стыковочные — на общую сборку баков.

Стыковочные юбки (обечайки) служат для стыковки баковых отсеков с другими. По конструкции они представляют собой

цилиндрические (редко конические) короткие сборочные обечайки, подкрепленные стрингерами и заканчивающиеся стыковочными шпангоутами. Технология изготовления юбок аналогична технологии корпусных обечайек, добавляются лишь (вследствие конструктивных отличий) прорезка окон или лючков, выштамповка различных местных усложнений, сверление отверстий и клепка со стыковыми шпангоутами. После сборки юбки подаются на общую сборку баков.

Днища являются наиболее специфичными и характерными деталями почти всех типов баков и корпусов. По форме обводов днища могут быть плоскими, сферическими, эллиптическими, параболическими, куполообразными и полуторовыми с бортами различной формы и без бортов, большинство днищ имеют отверстия с отбортовками для приварки деталей арматуры.

По диаметру различают малогабаритные (до 300 мм), среднегабаритные (300...1000 мм) и крупногабаритные (более 1000 мм) днища. По составу исходных заготовок различают простые цельноформованные (цельноштамповочные) и сложные штампосварные конструкции днищ, сваренные из отдельных сегментов (ленестков), число которых для крупных днищ доходит до 15...20. Основной технологией изготовления днищ является метод холодного формообразования (вытяжка, взрывная штамповка, обтяжка). После формообразования и торцовки днища поступают на сборку-сварку со стыковочными шпангоутами и деталями арматуры (штуцера, фланцы, кронштейны и т. п.), которая производится в специальных сборных приспособлениях, обеспечивающих точное базирование собираемых деталей. Затем днища поступают на испытания (на прочность и герметичность), а после промывки и сушки на общую сборку бака.

Детали арматуры, установочные и соединительные детали, служащие для заправки и подачи компонентов, а также для соединения отдельных элементов силовой схемы и крепления различных коммуникаций, приборов и устройств (фланцы, штуцера, кронштейны, заборники, уголки, накладки горловины, воронкогасители, патрубки и т. п.) относятся в большинстве случаев к жестким деталям общемашиностроительного типа. Они обычно изготавливаются из тех же материалов, что и основные элементы баков-конструкций. Ряд деталей этой группы изготавливают методами холодной штамповки из листовых, трубчатых и профильных заготовок; большинство же из них изготавливают механической обработкой. После контроля их размеров и форм они поступают на соответствующие стадии сборки узлов и агрегатов.

После изготовления отдельных элементов и деталей баков и сборки некоторых сборочных единиц: обечайек, днищ, стыко-

вочных юбок, стыковочных шпангоутов — они подаются на общую (агрегатную) сборку баков. С целью сокращения цикла изготовления и общей сборки все детали арматуры, установочные и соединительные детали должны по возможности собираться и привариваться к основным элементам баков на стадии узловой сборки.

В качестве примера рассмотрим сборку цилиндрических (конических) металлических баков. На рис. 3.1 представлена схема сборки типовой конструкции цилиндрического (конического) бака. Как правило, общая сборка таких баков производится в специальных приспособлениях — стапелях, предназначенных для точного базирования собираемых элементов относительно друг друга: базами при установке в приспособление обечаек и днищ часто являются внутренние поверхности, что обеспечивает лучшую соосность при сборке. В ряде случаев в сборочном стапеле собираемые элементы после базирования только прихватываются в нескольких точках, что упрощает их конструкцию, а сварка производится в более простых поддерживающих приспособлениях, обеспечивающих вращение уже прихваченных элементов для осуществления кольцевой автоматической сварки в так называемых сварочных стендах. На рис. 3.2 представлена конструктивная схема сварочного стенда [1].

Стенд для сварки похож на токарный станок: имеет переднюю и заднюю (подвижную) бабки (1, 7), на план-шайбах 2 которых с помощью разжимных центрирующих устройств 3 (подвижных в радиальном направлении секторов) осуществляется закрепление свариваемых узлов. План-шайбы опираются на опорные ролики люнетов 8 для исключения нагрузки от их веса (это мощные стальные кольца) на валы. Два симметрично расположенных люнета 8 также исключают провисание свариваемого агрегата. Подкладное кольцо 5 служит для формирования проплава сварного шва — кольцо разъемное — регулируемое для точной и плотной установки в месте стыка собираемых обечаек. Подкладное кольцо точно фиксируется относительно зоны сварки за счет базирования по торцевым поверхностям разжимных колец 6, предварительно установленных в свариваемые элементы бака и исключая овальность стыкуемых под сварку элементов (обечаек, днищ или юбок). После сварки последнего элемента бака сварочные приспособления (подкладные и разжимные кольца) выносятся через специально предусмотренный в днище бака технологический люк, поэтому приспособления должны быть разборными. Сварочный стенд имеет подвижный портал 9, в верхней части которого закреплена головка для автоматической аргоно-дуговой электросварки (АДЭС) 4. В нижней части портала крепится фрезерная головка 10 для торцов-

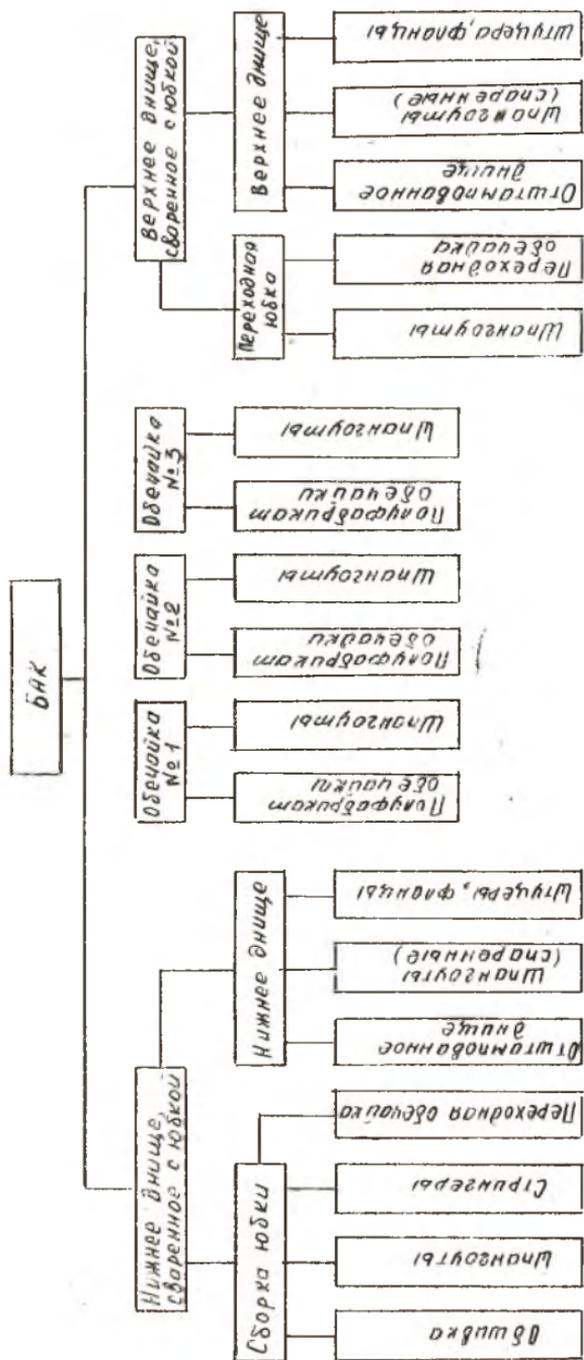


Рис. 3.1. Схема сборки типовой конструкции топливного бака ЛА

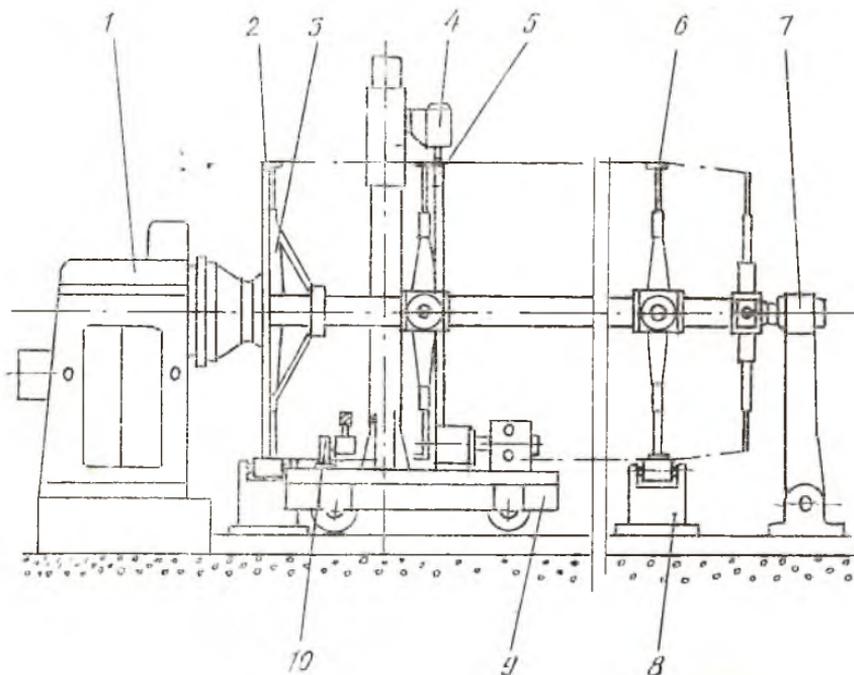


Рис. 3.2. Схема сварочного стэнда: 1 — передняя бабка; 2 — планшайба; 3 — разжимное центрирующее устройство; 4 — головка для АДЭС; 5 — подкладное кольцо; 6 — разжимное кольцо; 7 — задняя бабка; 8 — люнет; 9 — подвижный портал; 10 — фрезерная головка

ки обечаек с целью точной подгонки стыкуемых элементов и для снятия лишнего металла по длине обечаек (припуска) с целью обеспечения размера бака.

После сварки бака производится зачистка проплавов сварных швов, контроль их качества, монтаж внутрибаковых устройств (топнельных и дренажных труб, перегородок и т. п.), очистка внутренней полости от стружки, пыли и прочих загрязнений. Затем бак поступает на участок испытаний.

Сборка-сварка сферических баков имеет свои специфические особенности, т. к. емкости данной группы, как правило, предназначены для высокого давления (до $3 \dots 4 \cdot 10^4$ КПа и выше). Эту группу емкостей отличает большая толщина стенок (10...15 мм), относительная простота конструкции (наличие штуцеров с клапаном и кронштейнов крепления), высокие требования к прочности и герметичности сварных швов, материалами для них назначают высокопрочные сплавы и стали, иногда титановые сплавы. Технологические особенности: детали (полусферы, днища, кольца) изготавливают партиями (материал од-

ной плавки или прокатки); полусферы часто производят методом горячей объемной штамповки заодно со штуцерами; полусферы сваривают между собой через промежуточный элемент—кольцо (или шпангоут), составляющий часть сферического обвода бака; сварные швы подвергают индукционному отжигу высокой частоты, зачистке и выглаживанию, после чего производится окончательная термообработка (закалка, двухкратный отжиг и т. д.); сварные швы подвергают сплошному рентгеноконтролю; цикл и программа испытаний существенно отличаются по сравнению с цилиндрическими, коническими и торовыми баками, о чем будет сказано ниже.

4. СИСТЕМА ИСПЫТАНИЙ БАКОВ-ЕМКОСТЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

С целью обеспечения соответствия баков-емкостей ЛА высоким требованиям, предъявляемым к ним, в технологическом процессе их изготовления большое место занимают контрольно-испытательные работы. Определение объема, программы и технологии испытаний баков и емкостей является чрезвычайно сложной задачей, решаемой конкретно для данной емкости в соответствии с требованиями, назначением и условиями эксплуатации.

Несмотря на значительное отличие испытаний различных емкостей и баков, они составляют определенную систему, состоящую из отдельных этапов, которые выполняются по специальным программам.

Конструкторско-доводочные испытания (КДИ), целью которых является отработка конструкции бака или емкости, уточнение отдельных конструктивных решений, проверка функционирования отдельных элементов и соответствия конструкции основным предъявляемым требованиям. КДИ проводятся для небольшой партии (3..6) емкостей. Программа КДИ включает в себя испытания на прочность емкости и отдельных элементов (перегородок, сильфонов, диафрагм и т. д.), на герметичность, циклические испытания на повторные нагрузки, вибро- и ударные испытания, испытания на функционирование отдельных элементов, определение фактического давления разрушения и т. д.

Чистовые доводочные испытания (ЧДИ), целью которых является окончательное уточнение всех конструктивных особенностей емкостей, проверка их технологичности и возможности экономичного изготовления, соответствия конструкции всем требованиям, определение ресурсов работы. ЧДИ обычно прово-

дятся для небольшой партии емкостей, но большей, чем КДИ (6...9). Программа ЧДИ несколько шире КДИ и включает в себя определение массы и величины емкости бака, прочностные испытания бака и отдельных элементов, испытания на герметичность, циклические испытания повторным нагружением, вибро- и ударные испытания, испытания на функционирование (срабатывание) отдельных элементов, определение объема невыработаемого остатка компонента, определение фактического давления разрушения емкости (на части емкостей из партии) и т. д. Часть емкостей подвергается коррозионным испытаниям в среде компонентов по специальным программам для определения возможного срока хранения заправленной емкости.

Испытания установочной партии (ИУП), целью которых является проверка отработанности и стабильности технологического процесса изготовления и сборки. ИУП проводятся при постановке в производство новых изделий для небольшой партии (3...5) емкостей, которые изготавливаются по разработанной технологии и проходят предварительные обычные приемные испытания. Программа ИУП включает в себя испытания на прочность и герметичность емкостей и отдельных элементов, вибро- и ударные испытания, испытания на функционирование, циклические испытания на повторную нагрузку, определение фактического давления разрушения и т. д. При положительных результатах ИУП дается разрешение на производство штатных образцов емкостей.

Приемосдаточные (приемные) испытания (ПСИ) проводятся для всех изготовленных емкостей и баков с целью проверки соответствия каждого бака требованиям ТУ. Особенностью их является обеспечение минимального ущерба качеству и надежности емкостей от проводимых испытаний, например, вместо обычной воды при испытаниях применяют дистиллированную воду с антикоррозионными добавками, тщательно проводится контроль чистоты и целостности емкостей после испытаний, не допускается наличие паров спирта (после промывки) или газов, используемых при отдельных испытаниях и т. д. Программа ПСИ в наибольшей степени зависит от конструкции и требований к конкретным емкостям и бакам и включает в себя в общем случае следующие виды контроля и испытаний: геометрический контроль размеров, определение массы и величины емкости (тарировка), испытания на прочность и герметичность баков отдельных элементов, определение объема невыработанного остатка компонента, проверка функционирования отдельных элементов бака, контроль чистоты внутренних полостей, контроль на отсутствие паров спирта и газов, контроль внешним осмотром целостности элементов, поверхностей и теплозащитных покрытий и т. д. После ПСИ производится консервация емкостей.

Контрольно-выборочные (типовые) *испытания* (КВИ) проводятся с целью периодического контроля стабильности технологического процесса и качества баков и емкостей. Обычно КВИ проводятся выборочно для небольшого числа баков и емкостей от партии; количество их зависит от размеров и стоимости и может быть от одного бака и до 10% от партии. Повторные КВИ (в случае неудовлетворительных результатов и устранения их причин) проводятся на удвоенном количестве баков. На КВИ поступают емкости, успешно прошедшие ПСИ. Программа КВИ включает в себя следующие виды испытаний: проверку функционирования отдельных элементов, испытания герметичности емкости и отдельных ее элементов, циклические испытания, вибротесты на прочность и определение разрушающих нагрузок. Таким образом, главное отличие КВИ от ПСИ заключается в испытании выбранных емкостей до разрушения.

Приведенные этапы испытаний составляют единую систему испытаний при постановке в производство новых изделий. Иногда некоторые этапы испытаний могут совмещаться (например, КДИ и ЧДИ) или вообще отсутствовать, могут отличаться от приведенных программ отдельных этапов. Готовые баки и емкости, идущие на общую сборку изделия, подвергаются только приемным испытаниям.

5. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ЕМКостей НА ПРОЧНОСТЬ

Как показано выше, в программы отдельных этапов системы испытаний входят различные виды испытаний баков и емкостей, основными из которых являются испытания на прочность и герметичность.

Испытания на прочность являются одним из основных видов испытаний емкостей. Им подвергаются все емкости, и они входят во всех случаях в программу ПСИ. Испытания на прочность, как правило, предшествуют испытаниям на герметичность и динамическим испытаниям; проводятся при давлениях $P_{исп} = (1,15...1,25) P_{раб}$, где $P_{раб}$ — максимальное рабочее давление в емкости. Иногда испытательное давление назначают на (30...40%) выше рабочего (для изделий, работающих в спецусловиях) [2, 3, 6, 8].

Испытания на прочность производятся жидкостью, представляющей собой раствор ингибитора ($K_2Cr_2O_7$ или Na_2HPO_4) в дистиллированной воде. Этот раствор обладает повышенными антикоррозионными свойствами и, имея желтоватую окраску, заметен в случае утечки в местах негерметичности на поверх-

ности бака (или емкости) и на испытательной арматуре. Испытания проводятся в помещении цеха на участке испытаний, который должен быть оборудован защитными броневыми щитами, камерами, боксами и другими средствами безопасности. Испытания крупногабаритных емкостей производятся в специальных стендах. На рис. 5.1 в качестве примера приведена схема одного из вариантов выполнения гидростенда, а на рис. 5.2 представлена блок-схема установки дистанционного автоматического управления процессом гидроиспытаний.

Стенд состоит из установочной площадки 1, которая опирается на рычажные весы (как правило, процесс испытаний совмещают с тарировкой бака). Установочная площадка охвачена решетчатым ограждением 2 в целях обеспечения безопасности проводимых работ. На каркасе ограждения (с внутренней стороны) предусмотрено несколько ярусов откидных рабочих площадок 3, предназначенных для монтажа необходимой арматуры на испытуемом баке, а также для последующего осмотра бака при испытаниях. К гидростенду относятся также технологические емкости 4, наполненные раствором ингибитора, и насосная станция 5 для перекачки жидкости в испытуемый бак 6 и обратно в емкости и для обеспечения поддавливания жидкости в момент испытания. Контроль за величиной давления в баке осуществляется по манометрам пульта, вынесенного из зоны испытаний. Манометры соединены с полостью бака металлорукавами (армированными шлангами) высокого давления.

Порядок проведения испытаний на прочность заключается в следующем. После предварительного тщательного осмотра на отсутствие повреждений испытуемая емкость устанавливается на специальную подставку или на площадку гидростенда. Производится монтаж испытательной арматуры и заполнение бака жидкостью до появления ее из штуцера для выпуска воздуха, после чего штуцер заглушают и начинают создавать избыточное давление в баке с помощью специального насоса. Вначале производится предварительная опрессовка под давлением $P_{\text{пред}} = (0,1 \dots 0,2) P_{\text{раб}}$, но не более $3 \cdot 10^3$ кПа в течение 2...3 мин для проверки плотности соединений. В случае наличия утечек давление сбрасывается, дефекты устраняются и производится повторное испытание. В случае отсутствия утечек давление доводится до $P_{\text{исп}}$ и производится выдержка под этим давлением в течение 10...15 мин, после чего давление сбрасывается до рабочего, при котором производится осмотр емкости. Емкость считается годной, если отсутствуют места течи и изменение объема емкости не больше допустимой по ТУ, что проверяется или мерной емкостью, или весовым методом (тарировка). После сброса давления и слива воды производится сушка емкости.

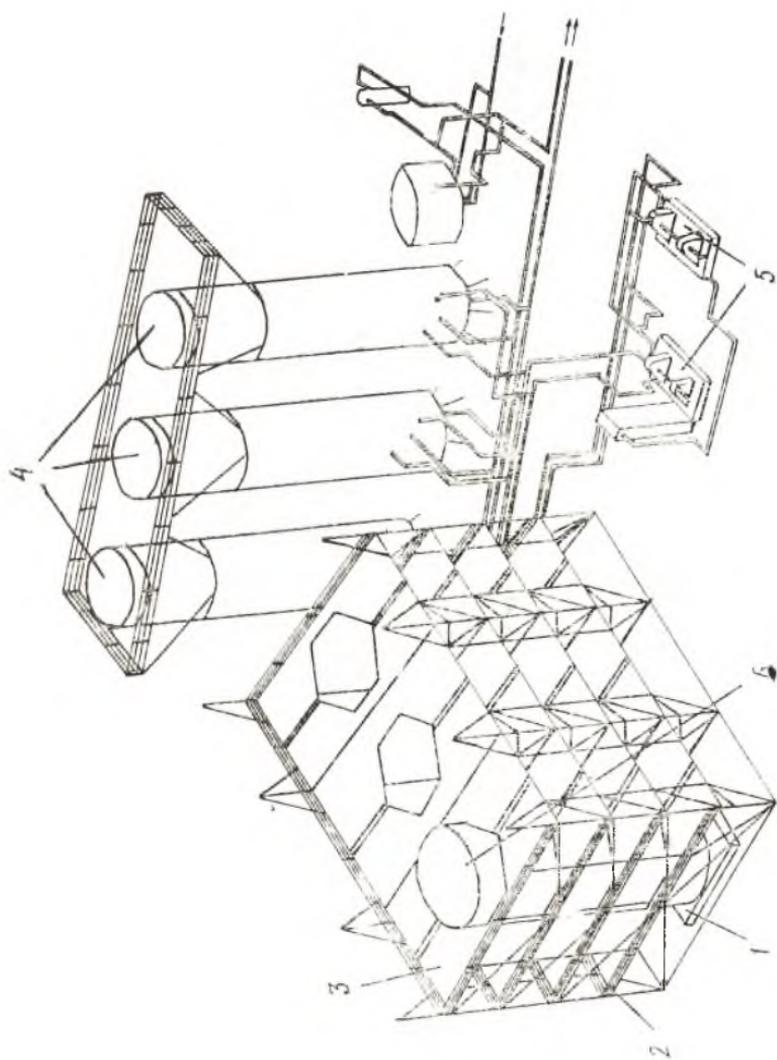


Рис. 5.1. Схема гидростенда для испытания емкостей низкого давления: 1 — установочная площадка; 2 — решетчатые ограждения; 3 — откидные рабочие площадки; 4 — технологические емкости; 5 — насосная станция; 6 — испытываемый бак

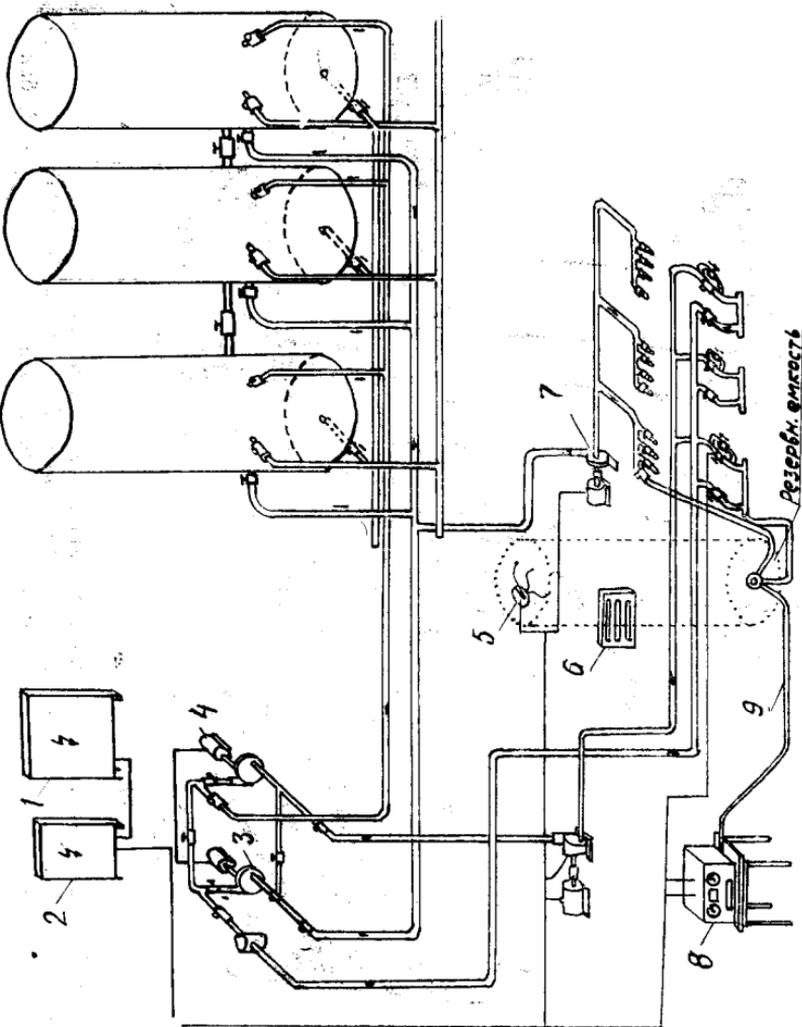


Рис. 5.2. Блок-схема управления установкой для гидротестирования: 1 — силовой распределительный узел; 2 — шкаф с электрооборудованием; 3 — насос наполнения с электродвигателем; 4 — насосы слива; 5 — электроклапан; 6 — световой транспарант; 7 — насос под давлением; 9 — шланг

Существуют также испытания емкостей (баков) на прочность газом, применение которых в последнее время возрастает, производится при тех же испытательных давлениях и условиях, что и в первом случае. Емкости считаются годными, если отсутствуют падение давления, контролируемое манометром, в течение пяти минут (при отключенной системе наддува) и очаги негерметичности, определяемые по звуку истекающей струи воздуха. Осмотр емкости производится при рабочем давлении. В этом случае также контролируется изменение испытываемого объема.

Испытания на длительную прочность (длительная опрессовка) проводятся для некоторых ответственных емкостей ЛА, которые в процессе эксплуатации длительное время находятся под действием рабочего давления. Такие же испытания проводятся обычно на этапе чистовых доводочных испытаний, испытаний установочной партии или при контрольно-выборочных испытаниях. Сущность их заключается в том, что емкость наполняется рабочей жидкостью или газом и выдерживается при рабочем давлении в течение времени, вдвое большего времени эксплуатации емкости под рабочим давлением. Эти испытания позволяют выявить дефекты и даже разрушения от коррозии под напряжением от ползучести, от водородной хрупкости и т. д., которые при обычных испытаниях могут остаться незамеченными. В некоторых случаях часть емкостей (при КДИ) подвергается рабочему давлению весьма длительное время (или до разрушения, или в 5...10 раз превышающее эксплуатационное время).

Циклические испытания емкостей ЛА, так же как и испытания на длительную прочность, проводятся при отработке конструкции и технологии изготовления емкостей или при выборочных испытаниях и не проводятся при ПСИ. Сущность циклических испытаний заключается в повторно-статическом нагружении емкостей от атмосферного до испытательного давления с числом циклов нагружения в процессе эксплуатации и приемных испытаний. Каждый цикл испытаний состоит из подъема давления до испытательного, выдержки при этом давлении в течение 2...3 мин, сброса давления до атмосферного и выдержки емкости при атмосферном давлении в течение 1...2 мин. Испытательное давление выбирается, как правило, равным рабочему, но в некоторых случаях, исходя из условий эксплуатации, режим испытаний может быть более сложным. Общее число циклов может достигать нескольких тысяч. При КДИ и ИУП циклические испытания могут проводиться до разрушения с целью определения максимального числа циклов, которое может выдержать данная конструкция емкости. Циклические испытания могут быть как гидравлическими, так и пневматическими. Годность

емкости при циклических испытаниях определяется отсутствием течей и остаточных деформаций, поэтому они предшествуют испытаниям на герметичность.

Испытания на разрушение проводятся обычно для ограниченного числа емкостей в период постановки их на производство и при выборочных испытаниях. Обычно они проводятся гидравлическим давлением. Режим постепенного, иногда ступенчатого повышения давления. Испытания проводятся в специальных бронекамерах после проведения обычных ПСИ. При испытаниях емкость вначале выдерживается при рабочем или испытательном $(1,15...1,4) P_{\text{раб}}$ давлении, после чего проводится увеличение давления до разрушения. Целью этих испытаний является определение реального запаса прочности данной партии емкостей.

Значительное место в системе испытаний емкостей занимают динамические, а точнее, вибрационные и ударные испытания.

Вибрационные испытания емкостей являются обязательными для всех видов испытаний, кроме ПСИ, и определяются тем, что ЛА на всех стадиях эксплуатации подвергаются вибрационному воздействию в широком спектре частот. Целью виброиспытаний является проверка вибропрочности — сохранения работоспособности после воздействия заданных вибраций в течение определенного времени, а также виброустойчивости — правильного функционирования отдельных устройств и элементов емкостей в условиях действующих вибраций. В процессе виброиспытаний проверяются крепления штуцеров, прочность, герметичность и качество крепления диафрагм, воронкогасителей, заборных устройств, кронштейнов и т. д., вибропрочность самих корпусов (особенно сварных швов) емкостей. Поэтому после виброиспытаний должны проводиться испытания на прочность и герметичность. При виброиспытаниях предел частот колебаний от 5 до 2000 Гц и перегрузок до 15...20 единиц.

Вибрационные испытания производятся с заправленными емкостями и заглушенными штуцерами на вибростендах различной конструкции: электродинамических, электромеханических, электрогидравлических, гидравлических и т. д. Установленная емкость обезвешивается при помощи системы различных амортизирующих пружин. Режим задания частот колебаний может быть различным: дискретным в заданном пределе или методом «качающейся частоты», когда частота плавно изменяется во всем заданном пределе, а перегрузки изменяются дискретно, образуя ряд (10...15) ступенек, характеризующихся одним значением перегрузки и небольшим пределом частот колебаний. Как правило, виброиспытания емкостей проводятся в двух взаимно перпендикулярных направлениях и реже в трех направлениях. Год-

ность бака определяется после испытаний на прочность и герметичность.

Ударные испытания емкостей (испытания на ударную прочность) проводятся для проверки работоспособности емкости и ее элементов после воздействия на нее значительных пиковых (часто многократных) перегрузок. Они проводятся или на специальных стендах, воссоздающих ударные нагрузки определенной перегрузки и времени воздействия, или сбросом емкости, помещаемой в специальный контейнер, с заданной высоты на металлическую или иную поверхность, характеризующуюся заданными упругими характеристиками. Режим ударных испытаний устанавливает направления и количество ударов, величины перегрузок и время воздействия. Режим испытаний может быть многоступенчатым. Годность емкости после ударных испытаний определяется целостностью емкости и ее элементов, а также сохранением ее работоспособности и герметичности.

6. ТАРИРОВКА ЕМКостей

Тарировка баков производится с целью определения полного объема, полезного объема, промежуточных объемов по мере расхода жидкости и объема обязательного остатка. Тарировка, как правило, совмещается с процессом испытания емкости на прочность. Существуют два метода тарировки: объемный и весовой. В первом случае объем бака определяют с помощью тарировочной емкости, объем которой заранее известен. Во втором случае определение объема бака и его тарировка осуществляются взвешиванием, при этом процесс тарирования может производиться двумя способами: наполнением тарлируемой емкости или сливом. В производстве эти способы называют «сухой» и «мокрый». Фиксация контрольных точек при сливе (или заполнении) рабочей жидкости производится с помощью специальных датчиков уровня. Объем в каждый момент времени определяется по формулам:

$$\text{для «сухого» способа} \quad V_i = \frac{P_i - P_0}{j_{ж}} K_t, \quad (6.1)$$

$$\text{для «мокрого» способа} \quad V_i = \frac{P_{н} - P_0 - P_i}{j_{ж}} K_t, \quad (6.2)$$

где P_0 — вес сухого бака; $P_{н}$ — вес бака с полным объемом жидкости; P_i — вес бака в любой момент тарировки; $j_{ж}$ — удельный вес жидкости, которая используется в испытаниях (при нормальной температуре); K_t — поправочный коэффициент, учитывающий температурные колебания в момент испытания.

Для пересчета полученных результатов на реальные условия эксплуатации бака данные замера при тарировке корректируются на поправочный коэффициент, равный отношению удельных весов «штатной» рабочей жидкости и используемой в испытаниях.

7. МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЧИСТОТЫ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ БАКОВ - ЕМКОСТЕЙ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

7.1. СПОСОБЫ ОБЕЗЖИРИВАНИЯ И УДАЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ИЗ ВНУТРЕННИХ ПОЛОСТЕЙ БАКОВ-ЕМКОСТЕЙ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

К бакам современных летательных аппаратов кроме требований высокой прочности, определенности объема предъявляются также высокие требования по чистоте.

Обезжиривание и очистка внутренних полостей емкостей производится как вручную, так и с использованием специальных промывочных стандов. Применение того или иного способа определяется габаритными размерами баков, оснащенностью производства современными промывочными стандами и средствами контроля чистоты полостей баков и т. п. Ручной способ обезжиривания заключается в обычной протирке (при условии доступности) поверхности бака хлопчатобумажной салфеткой, смоченной растворителем, в качестве которого применяется бензин Б-70 и этиловый спирт. Применение спирта и бензина при обезжиривании имеет недостатки; токсичность, пожароопасность, возможность возникновения статического электричества. Эти растворители оказывают вредное воздействие на организм человека: в малой концентрации они вызывают слегка онемляющее и анестезирующее действие, но при большой концентрации приводят к отравлению и другим тяжелым последствиям. Кроме того, окончательное обезжиривание изделий салфетками, смоченными бензином и спиртом, не дает качественного обезжиривания. Поэтому в последние годы стал применяться механизированный метод обезжиривания с применением поверхностно-активных моющих средств [1, 6, 8].

Механизированный метод обезжиривания обеспечивает механическое воздействие, циркуляцию, движение моющего раствора и необходимое повышение температуры. Механическое воздействие моющего раствора на промываемую поверхность осуществляется с помощью устройства, головка которого представляет собой разъемные сферические корпуса с расположенными на них по экваториальному сечению форсунками. Такое

расположение форсунок создает вращающий момент и соответственно максимальный моющий эффект. Промывку осуществляют различными моющими растворами, например, раствором ОП-7 на водной основе в концентрации 2—3 г/л с добавлением двухкомпонентного ингибитора. ОП-7 обладает эмульгирующими и диспергирующими свойствами, способствующими удалению масляных и жировых пятен и загрязнений.

На примере обезжиривания и промывки элементов емкостей полусфер ознакомимся со схемой и работой промышленного промывочного стенда [7, 8]. На рис. 7.1 приведена принципиальная схема промывочного стенда.

Схему стенда можно разделить на две системы: систему ОВ (система промывки обессоленной водой) и систему ОП-7 (система обезжиривания раствором поверхностно-активного моющего вещества ОП-7).

Примечание. Следует отметить, что для проведения гидротестов, тарировочных работ, составления моющих растворов, обезжиривания и промывки емкостей, изготовленных из алюминиевого сплава АМгб, применение водопроводной воды недопустимо из-за наличия солей железа, кальция, магния, натрия, соляной и серной кислоты, вызывающих коррозию материала емкости в процессе длительного хранения. Поэтому на предприятиях для реализации рассмотренных выше технологических процессов созданы и используются специальные установки для обессоливания водопроводной воды.

На первом этапе производится обезжиривание объема (полусферы, днища и т. п.) раствором ОП-7. Для этого в емкость 3 (см. рис. 7.1) через верхний люк загружается концентрат пре-гарата ОП-7 (2—3 г на литр раствора ингибитора), после чего емкость 3 заполняется горячей обессоленной водой, в которой раствор перемешивается в течение 5...10 мин. Затем раствор насосом низкого давления 7 подается в теплообменник 5, в котором нагревается до 45° С. После нагрева раствор ОП-7 с помощью насоса высокого давления 9 подается в душирующее устройство 20, через форсунки которого производится обезжиривание объекта 16 в специально предусмотренной для этого камере 15 (на схеме рабочее место, обозначенное цифрой 11). После обезжиривания емкость 16 (объект производства) переводится на рабочее место 1, где в аналогичной камере 15 производится промывка емкости обессоленной водой.

Система ОВ, первого рабочего места, работает следующим образом. Обессоленная вода поступает от обессоливающей установки в емкость 1. Затем с помощью насоса низкого давления вода перекачивается в теплообменник 4, в котором подогревается разогретым паром и с помощью насоса высокого давления 8 подается в душирующее устройство 17, через форсунки которого в камере 15 производится промывка емкости 16. По мере накопления отработанной жидкости она откачивается в напол-

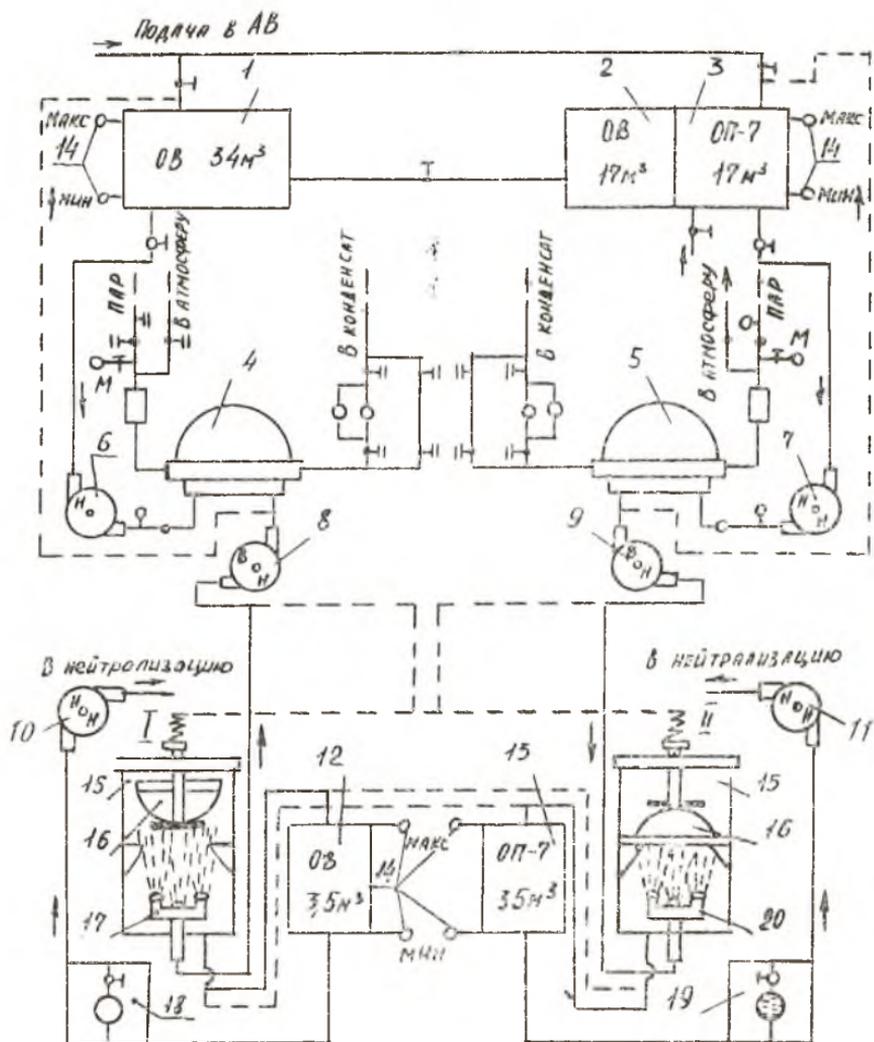


Рис. 7.1. Принципиальная схема промывочного стенда: 1, 2 — емкости ОВ; 3 — емкость ОП-7; 4, 5 — теплообменник; 6, 7, 10, 11 — насосы низкого давления; 8, 9 — насосы высокого давления; 12, 13 — накопительные емкости; 14 — датчики уровня; 15 — установочные емкости; 16 — объект промывки; 17, 20 — душирующее устройство; 18, 19 — задвижки

нительную емкость 12, откуда с помощью насоса 10 перекачивается для нейтрализации.

Во время промывки емкости 16 на I рабочем месте производится обезжиривание очередной емкости на II рабочем месте. Взаимозаменяемость I и II рабочих мест обеспечивается соответствующей гидроразводкой, смонтированной в подвале цеха. Для координированного включения и выключения большого количества вентилей в стенде используется система автоматического управления и контроля.

7.2. СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ ЧИСТОТЫ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Существует два способа контроля чистоты внутренних поверхностей: непосредственный и косвенный. Первый способ связан с непосредственным наблюдением контролируемой поверхности и определением степени ее загрязнения. Однако этот способ может быть применен, главным образом, только на ранних этапах технологического процесса, например, при определении чистоты отдельных элементов баков: днищ, обечаек и т. д., когда имеется доступ к поверхностям. После того, как бак или другой элемент системы собран, непосредственное наблюдение поверхности становится невозможным; и косвенные методы применяются тогда, когда о чистоте внутренних поверхностей судят по чистоте промывочных жидкостей.

В приборах для непосредственного контроля чистоты внутренних поверхностей типа ПУЛК (прибор универсального люминесцентного контроля) используется особенность органических веществ и минеральных масел светиться под действием ультрафиолетового облучения. Люминесценция масел в зависимости от их сорта может иметь голубой, синий или зеленый оттенок. С увеличением концентрации масла на изделии яркость светящегося пятна пропорционально возрастает, что позволяет судить о степени загрязнения изделия. Иногда для оценки степени обезжиривания используют эталон допустимого качества обезжиривания, который имеет такую степень обезжиривания, которая может быть достигнута в производственных условиях промывкой водным раствором ОП-7. Сравнения производят по интенсивности люминесценции поверхностей бака и эталона.

Среди косвенных методов контроля различают следующие способы: визуальный, массовый, оптический и гранулометрический.

Наиболее простым является визуальный метод контроля, когда о чистоте рабочей жидкости судят с помощью простых приспособлений и мерительных средств или «на глаз».

Например, производят слив жидкости после промывки через фильтр или хлопчатобумажную салфетку и отмечают наличие механических частиц (в виде «блесток»), которые по величине не превышают 20.40 мкм. Визуальный метод находит широкое применение в промышленности, т. к. может быть выполнен в течение 5...10 мин.

Более точным является весовой метод контроля, который выполняется в лабораторных условиях. Сущность его заключается в том, что проба промывочной жидкости (от 100 до 1000 см³) пропускается через специальный лабораторный бумажный фильтр, который задерживает все частицы размером не менее 5 мкм. Затем этот фильтр просушивают, взвешивают и сравнивают с весом аналогичного чистого фильтра. Разница в весе характеризует среднюю концентрацию частиц в пробном объеме. Недостатками данного способа контроля являются: недостаточная точность, которая выражается в необъективной оценке общей загрязненности рабочей жидкости (прохождение частиц с размерами 5—8 мкм сквозь фильтр оценивается как их отсутствие); недостаточная производительность метода, требующая лабораторных условий оценки чистоты и т. п.

Оптический метод контроля чистоты рабочей жидкости после промывки емкости основан на эффекте Тиндаля — эффекте рассеяния света в мутных средах, т. е. на измерении разности в поглощении направленного луча света в контролируемой и эталонной жидкостях. Изменение освещенности фиксируется фотоспротивлением. Однако данный метод не позволяет сделать количественной оценки состава частиц, загрязняющих жидкость, поэтому проводят дополнительные измерения путем визуального подсчета с помощью микроскопа (что достаточно трудоемко и недостоверно).

Для решения задачи количественной и качественной оценки состава загрязняющих жидкостей в последние годы были созданы автоматические приборы, обеспечивающие гранулометрический анализ механических примесей [7, 8]. В таких приборах используют фотоэлектрический принцип определения размеров и подсчета твердых частиц. На рис. 7.2 представлена схема прибора данного типа. Определение размеров и количества твердых частиц осуществляется следующим образом. Пучок света с помощью входной оптической системы 1 направляют на предметное стекло 3 микроскопа, на которое нанесена исследуемая жидкость. Предметное стекло 3 установлено на предметный столик 2, совершающий с помощью специального привода 4 и системы управления сканирующие движения, заключающиеся в незначительных продольных перемещениях с одновременным поперечным перемещением на шаг, равный

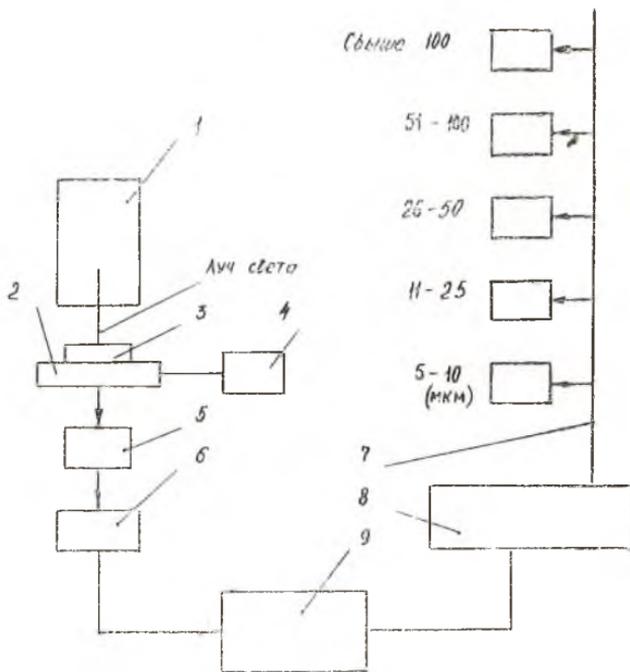


Рис. 7.2. Схема прибора для определения размера и количества твердых частиц: 1 — входная оптическая система; 2 — предметный столик; 3 — предметное стекло; 4 — спецпривод; 5 — выходное оптическое устройство; 6 — фотозлемент; 7 — электронные счетчики; 8 — амплитудный дискриминатор; 9 — усилитель

50 мкм. В результате пучок света на своем пути встречает загрязняющие жидкость частицы различных размеров и в соответствии с размерами этих частиц изменяет свою интенсивность. Пучок света, пройдя выходное оптическое устройство 5, попадет на фотозлемент 6, который генерирует электрические импульсы в соответствии с изменяющейся интенсивностью светового потока. При этом амплитуда импульса будет тем больше, чем больше загрязненность частиц, встреченных на пути света. Далее эти импульсы усиливаются с помощью усилителя 9 и подаются в амплитудный дискриминатор 8, который производит селекцию импульсов на пять групп в зависимости от величины амплитуды импульсов. Тем самым производится селекция частиц от 1 до 200 мкм на пять групп (см. рис. 7.2). Подсчет частиц осуществляется электронными счетчиками 7 (в схеме имеется пять счетчиков). Применение такого прибора сокращает время, необ-

ходимое для подсчета по сравнению с фотовизуальным способом, примерно в 5 раз, позволяет получить более полные и объективные данные о качестве промывки.

7.3. СУШКА БАКОВ-ЕМКОСТЕЙ И ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

В процессе промывания микронеплотности трубопроводов, баков, емкостей и других элементов гидросистем заполняются жидкостью, что снижает достоверность контроля герметичности газовыми методами. Поэтому баки, емкости и трубопроводные системы подвергают процессам сушки. В настоящее время существует много способов сушки: термические, радиационные с использованием инфракрасных лучей, продувкой сухим горячим воздухом под давлением $(4..6) 10^2$ кПа. Одной из наиболее часто применяемых и надежных является термовакуумная сушка [1, 6, 7], производимая в специальной стационарной вакуумной камере, имеющей вакуумную откачку порядка $(0,2..0,4) 10^2$ кПа. Температура сушки $100..110^\circ\text{C}$, создается с помощью кольцевых электронагревателей, расположенных внутри вакуумной камеры. Для более точной фиксации температуры сушки на испытываемую емкость предварительно прикрепляются несколько контрольных термомпар. Время сушки 8..12 часов. Преимуществом термовакуумной сушки является удаление влаги даже из микронеплотностей стенок емкости.

8. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ БАКОВ-ЕМКОСТЕЙ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ

8.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПОНЯТИЯ

Одним из основных факторов, определяющих надежность работы летательного аппарата в целом, является необходимая герметичность баков, емкостей, гидropневмотопливных агрегатов и системы ЦГС.

Контроль герметичности баков-емкостей и агрегатов пневмогидросистемы двигательной установки в производстве ЛА осуществляется различными методами. Выбор метода испытаний определяется необходимой чувствительностью, а также его производительностью, безопасностью и экономичностью.

Прежде чем приступить к рассмотрению отдельных методов испытаний, познакомимся с некоторыми понятиями и определениями.

Герметичность — это непроницаемость соединений и стенок, ограничивающих объем, для газов и жидкостей.

Герметичность характеризуется количеством газа (жидкости), проникающим в систему (изделие) или вытекающим из нее в единицу времени, т. е. произведением объема, занимаемого газом (жидкостью), на изменение в нем давления в единицу времени после прекращения откачки или повышения давления [6].

Это можно выразить формулой для натекания или вытекания

$$Q = \frac{V \Delta P}{\Delta t}, \quad (8.1)$$

где Q — натекание или вытекание;

V — изолированный от откачки или натекания объем;

ΔP — изменение в нем давления за время Δt .

Реализация любого процесса испытания на герметичность предполагает обязательным наличие трех элементов: объекта испытания, тракта течеискания и детектора (регистрирующей системы).

Испытания проходят в определенных условиях: газообразной или жидкой среде, а также при различных способах реализации физического принципа детектирования, регистрации контрольного либо пробного вещества.

Контрольным веществом называют жидкость, газ или смесь газов, которыми заполняется объект при испытаниях на герметичность. Оно часто содержит в себе пробное вещество.

Пробное вещество — газ или жидкость, которые при прохождении через тракт течеискания избирательно регистрируются детектором измерительного или анализирующего прибора.

Рабочее вещество — жидкость или газ, которыми заполняется объем или система при эксплуатации.

Детектор (в течеискании) — это устройство (средство) для обнаружения утечки контрольной либо пробной среды из объекта испытания.

Тракт течеискания — путь, который проходит контрольное (пробное) вещество от объекта испытания к течеискателю.

В настоящее время в производстве ЛА и, в частности, при испытаниях баков-емкостей на герметичность, нашел применение ряд методов, основные из которых представлены в виде классификации, показанной на рис. 8.1 [6].

Из рассмотрения классификатора видно, что все методы испытания синтезируются по групповому принципу построения, в свою очередь, методы разделяются на способы испытания с различными технологическими вариантами.

Группы методов объединяются по условиям реализации физического принципа детектирования (регистрирующей системы) и состоянию в объекте течеискания контрольной пробной среды.

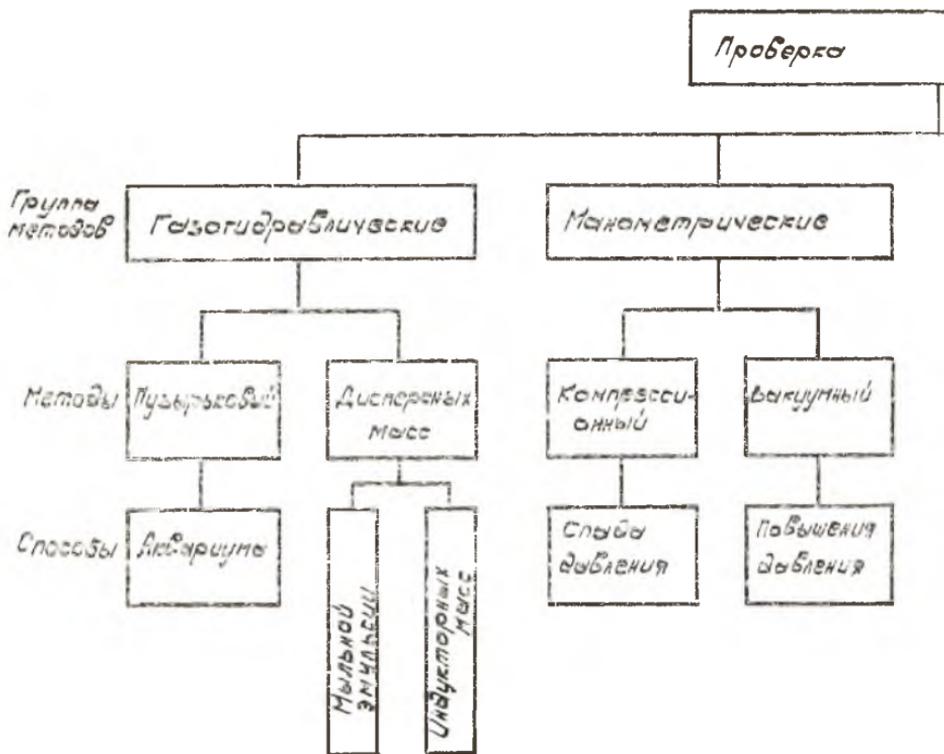


Рис. 8.1. Классификация методов испытания

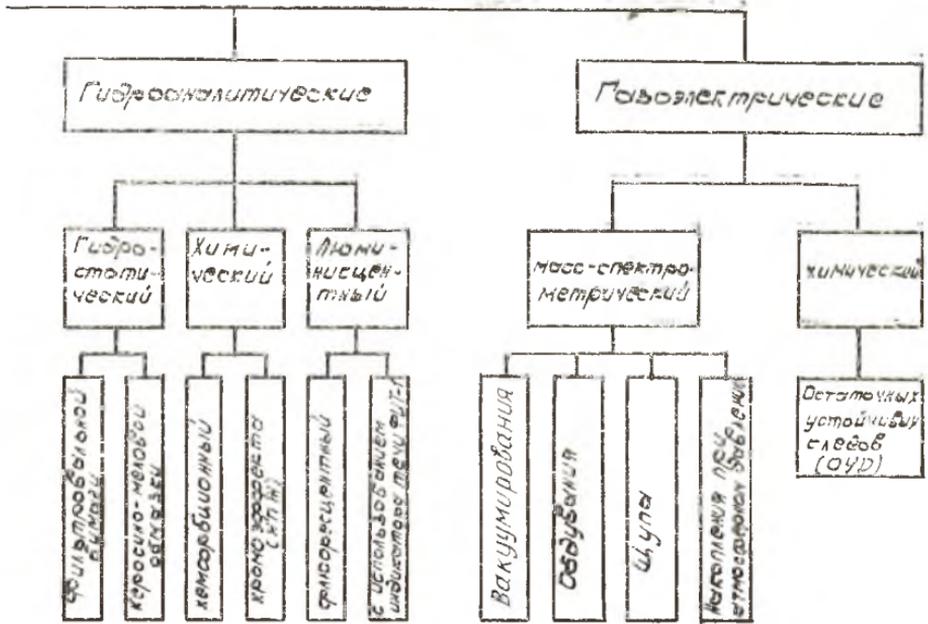
Газогидравлические методы предусматривают заполнение объекта испытания контрольным газом, перенос утечки в гидравлический тракт течения и регистрацию ее с помощью анализирующей (течексательной) аппаратуры или индикаторных средств.

Манометрические методы позволяют проводить проверку герметичности объекта контрольным газом и количественную оценку утечки с помощью манометрических средств измерения.

Гидроаналитические методы предусматривают заполнение объекта испытания контрольной (пробной) жидкостью, массоперенос утечки в гидравлическом, газообразном тракте течения и регистрацию ее анализирующим прибором, индикаторным средством либо течексателем.

Газоаналитические методы предусматривают заполнение объекта испытания контрольным (пробным) газом, перенос утечки в газообразном тракте течения и регистрацию ее анализирующей, течексательной аппаратурой либо специальными индикаторами.

герметичности



на герметичность баков, емкостей

Методы испытания на герметичность различаются между собой по физическому принципу детектирования (регистрации) утечки контрольной либо пробной среды.

В зависимости от параметров технологических процессов испытания, а также конструктивно-технологических параметров объекта методы испытания, не изменяя физической сущности реализации, могут иметь различные технологические разновидности.

Способы испытания на герметичность — технологические разновидности методов испытания, связанные с применением различных средств течения и испытательного оборудования.

Например, масс-спектрометрический метод может осуществляться как в условиях вакуума — способ вакуумирования, так и в атмосферных условиях — способ шула.

Способы испытания могут применяться в различных вариантах технологического процесса.

Чувствительность метода (способа) испытаний — минимальное значение утечки контрольного или пробного вещества, которое может быть надежно зарегистрировано детектором.

8.2. СУЩНОСТЬ МЕТОДОВ И СПОСОБОВ, ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ БАКОВ-ЕМКОСТЕЙ

8.2.1. Газогидравлические методы и способы испытания на герметичность

Пузырьковый метод. Этот метод предусматривает подачу контрольного газа (азота, воздуха и т. д.) и создание внутри объекта испытания (бака, емкости, баллона, шар-баллона и т. п.) избыточного давления.

Способ аквариума (рис. 8.2). Объект испытания помещают в резервуар (аквариум) и обнаруживают течи по появлению воздушных пузырьков в жидкости.

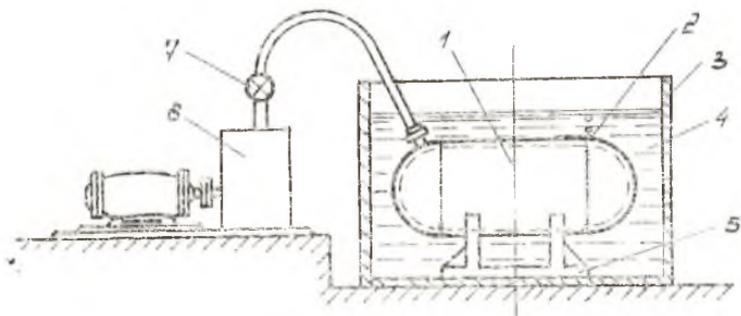


Рис. 8.2. Способ аквариума: 1 — испытываемый объект (емкость); 2 — место течи — воздушные пузырьки; 3 — аквариум; 4 — жидкость; 5 — технологическая подставка; 6 — компрессор; 7 — запорный кран

В качестве жидкости применяют 0,5% раствор калиевого хромпика в дистиллированной воде или раствор специальных ингибиторов коррозии в воде. Например, двухкомпонентный фосфатно-хромпиковый ингибитор состава:



Этот ингибитор применяется при испытаниях конструкций из алюминиевых сплавов. Добавки хромпика и ингибиторов значительно снижают коррозионные свойства воды и обеспечивают высокое качество изделий после испытания.

Пузырьковый метод позволяет не только находить места течей, но и судить об их величине по скорости образования и величине пузырей.

Рассмотрение законов образования пузырей молекулярной физикой позволяет определить связь потока Q газа через течь с размерами и частотой образования пузырей. В самом деле силы, приводящие к образованию пузырька $P_{\text{вн}} = \frac{Qt}{V}$, должны преодолеть сопротивление всех сил, противодействующих этому образованию. Суммарное давление на пузырек извне складывается из трех составляющих:

— $P_{\text{ат}}$ — атмосферного давления;

$P_{\text{г}} = \rho gh$ — гидравлического давления столба жидкости, где ρ — плотность жидкости, g — ускорение силы тяжести, h — высота столба жидкости;

— $P_{\text{п}} = \frac{4\sigma}{D}$ — капиллярного давления, обусловленного поверхностным натяжением окружающего пузырек слоя жидкости, где σ — коэффициент поверхностного натяжения, D — диаметр пузырька.

Внутреннее давление в пузырьке $P_{\text{вн}} = \frac{Qt}{V}$ создается потоком газа Q через течь, натекающим в объем V пузырька за время t .

$$\text{Равенство } P_{\text{вн}} = P_{\text{п}} + P_{\text{г}} + P_{\text{ат}} \quad (8.2)$$

приводит к выражению для потока:

$$Q = \frac{\pi D_0^3}{6 t_0} \left(\frac{4\sigma}{D_0} + \rho gh + P_{\text{ат}} \right), \quad (8.3)$$

где D_0 — диаметр пузырька к моменту отрыва через время t_0 после образования.

Оценка показывает, что первый и второй члены суммы малы в сравнении с третьим, так что в реальных условиях испытаний поток газа через течь можно с достаточной точностью определить из уравнения

$$Q = \frac{\pi D_0^3}{6 t_0} P_{\text{ат}} \quad (8.4)$$

или в более удобной для практики форме, поскольку $t_0 = \frac{\Delta t}{n}$, где n — число пузырьков, образующихся за время наблюдения Δt :

$$Q = \frac{\pi D_0^3 n}{6 \Delta t} P_{\text{ат}}. \quad (8.5)$$

Чувствительность описанного выше способа при применении открытого (не вакуумированного) резервуара, заполненного водой, находится в пределах $Q_{\text{мин}} = 10^{-1} \dots 10^{-2}$ л·мкм/с ($1,33 \cdot 10^{-5} \dots 1,33 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3 \text{Па}}{\text{с}} = 1,33 \cdot 10^{-5} \dots 1,33 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м} \cdot \text{н}}{\text{с}} = 1,33 \cdot 10^{-5} \dots 1,33 \cdot 1,33 \cdot 10^{-6} \text{Вт}$).

При вакуумировании и применении спирта чувствительность может быть повышена до 10^{-3} л·мкм/с $\left(1,33 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}^3 \text{Па}}{\text{с}}\right)$. Этот способ широко применяется при проверке герметичности малогабаритных баков, баллонов, а также трубопроводов и арматуры системы ПГС.

Метод дисперсных масс основан на свойстве индикаторной массы фиксировать места негерметичности с образованием в поверхностном слое пузырьков (вздутий или кратеров), возникающих от воздействия контрольного газа, выходящего через микродефекты испытываемого объекта (бака).

Способ обмыливания. Это наиболее простой, доступный и достаточно производительный способ испытания. Может применяться для испытания объемов.

Способ обмыливания заключается в создании необходимого испытательного давления в объеме сжатым воздухом. Утечка определяется по изменению давления, фиксируемому по манометру, а место утечки — с помощью пузыреобразования мыльной пены, нанесенной на поверхность испытываемого изделия. К качеству мыльной пены предъявляются повышенные требования. В производстве летательных аппаратов применяется «мыльная эмульсия незамерзающая» до температуры -40°C . Она представляет из себя раствор мыльного корня в дистиллированной воде с добавкой хлористого кальция. На 1 л берется 100 г растертого в порошок мыльного корня. После нагрева до $+80 \div +90^\circ\text{C}$ в течение 4—5 ч и образования пены добавляется 40 г хлористого кальция и 30 частей кукурузного декстрина на 100 г мыльной эмульсии. Эмульсия должна давать обильную пену и сохраняться не оседая в течение 1 часа.

Отличие в закономерности образования пузырей на мыльной пленке по сравнению с их образованием при погружении изделия в жидкость определяется, во-первых, отсутствием в уравнении гидростатического давления ρ , во-вторых, повышенным капиллярным давлением $P_{\text{н}}$. Это давление для пузырей в газовой среде, окруженных двухсторонней пленкой $P_{\text{н}} = \frac{8\sigma}{D}$.

Тогда уравнение течи можно записать в следующем виде:

$$Q = \frac{V(P_{\text{ат}} \mp P_{\text{н}})}{t_0} = \frac{\pi D_0^3}{6 t_0} \left(P_{\text{ат}} \mp \frac{8\sigma}{D} \right). \quad (8.6)$$

Так как и здесь $P_{\text{н}} \ll P_{\text{ат}}$, поток определяется тем же уравнением, что и для метода погружения:

$$Q = \frac{\pi D_0^3}{6 t_0} P_{\text{ат}}. \quad (8.7)$$

Проводя испытания путем обмыливания поверхности, следует помнить, что устойчивость мыльных пузырей обеспечивается уве-

личением вязкости жидкости, а не ее поверхностного натяжений. Вязкая жидкость медленно стекает под действием своего веса и утонение пленки происходит не так быстро. И, наоборот, чем меньше σ , тем меньше сила, которая стремится разорвать пленку, и тем устойчивее пузыри. Чистая вода имеет большое σ и малую вязкость. Пена на ней не образуется. Растворение в воде мыла уменьшает коэффициент поверхностного натяжения и увеличивает вязкость. Образованию пузырей способствует растворение в воде яичного белка, желатина. Для увеличения вязкости мыльного раствора к нему можно добавлять глицерин.

К недостаткам метода обмыливания следует отнести: а) малую чувствительность ($Q_{\min} = 1 \cdot 10^{-1}$ мк. л./с ($1,33 \cdot 10^{-5}$ м³ Па/с); б) трудность контроля малодоступных для обзора мест; в) загрязнение мест обмыливания, что требует дополнительной операции по очистке изделий.

8.2.2. Способ индикаторных (дисперсных) масс

Контроль герметичности основан на применении специальных дисперсных масс различного цвета. Масса наносится на контролируемую поверхность или сварные швы изделия (емкости, бака и т. п.) при помощи мягкой кисти или пистолета-распылителя. Затем создается испытательное давление внутри изделия. Негерметичные места фиксируются во время визуального осмотра изделия по наличию скопления мелких пузырей в массе, которые сохраняются после сброса избыточного давления в течение 0,5...1,0 часа, что позволяет производить испытания дистанционно.

Дисперсная масса долго не засыхает, так как ее основой являются пенообразователи с широким температурным диапазоном работоспособности от +30° до -20°С. Она не вызывает коррозии металлов, не воспламеняется, не токсична, а также хорошо фиксирует течи до $5 \cdot 10^{-3}$ л·мкм/с ($6,65 \cdot 10^{-7}$ м³ Па/с). После окончания испытания масса с контролируемых поверхностей легко смывается водой, ацетоном, фреоном—113 или стирается хлопчатобумажным тампоном. Масса сохраняет работоспособность в закрытой емкости в течение 6 месяцев.

Химический состав различных по цвету дисперсных масс приведен в табл. 8.1.

Окраска массы дает контрастность пузыря или кратера на фоне поверхности изделия.

Кратко порядок испытания изделия (бака-емкости) заключается в следующем:

мойка и очистка от загрязнения наружной и внутренней поверхности изделия;

создание предварительного давления сжатым воздухом $P_{\text{предв}} = (10...50) \%$;

нанесение дисперсной массы с помощью пистолета-распылителя на проверяемую поверхность или соединение. Норма расхода массы $50...100 \text{ мл/1 м}^2$;

создание испытательного давления $P_{\text{исп}} = 1,1 P_{\text{раб}}$, выдержка $t = 15 \text{ мин}$;

сброс давления до $P_{\text{предв}}$ и осмотр дисперсной массы на предмет выявления негерметичности; негерметичные места определяются по наличию скопления мелких пузырей в массе;

удаление массы после окончания испытания с контролируемых поверхностей.

Таблица 8.1

Состав индикаторных (дисперсных) масс

Наименование компонентов	Содержание компонентов, %			
	ДМ-1	ДМ-2	ДМ-3	ДМ-4
	голубой фон	зеленый фон	голубой фон	черный фон
Сульфат-эмульсатор (паста) или синтанол ДТ-7	27,6	25,3	3,53	25,3
Глицерин дистиллированный	34,0	34,0	34,0	34,0
Двуокись титана пигментная	8,0	—	—	—
Каолин обогащенный	20,0	—	—	—
Белила цинковые сухие	—	25,0	24,0	21,0
Хромат цинка	—	6,0	6,0	5,0
Краситель органический основной	0,2	—	—	—
Краситель органический легкосмываемый, зеленый	—	0,3—0,4	—	—
Сажа ПМ-15	—	—	—	6,0
Лазурь железная	—	—	2,0	—
Калий двухромокислый	0,15	—	—	—
Вода дистиллированная	остальное			

8.2.3. Манометрические методы и способы испытания на герметичность

При манометрическом методе проверки герметичности предусматривается заполнение (вакуумирование) проверяемого объекта контрольным газом (воздухом, азотом и т. д.), создание внутри объекта избыточного давления (вакуума) и выдержка в течение заданного времени. Оценка герметичности производится по времени падения или повышения давления на манометре с автоматической записью или по секундомеру.

Компрессионный метод проверки герметичности реализуется в производстве ЛА способом спада давления.

Способ спада давления предусматривает заполнение испытуемого объекта (бака, емкости и т. п.) воздухом, создание внутри объекта избыточного давления и выдержку в течение заданного времени.

Оценка негерметичности при этом способе производится временем падения давления на манометре, которое определяется по секундомеру. Задавшись допустимой величиной вытекания газа Q и зная объем V испытуемого отсека, можно определить допустимое время падения давления:

$$\Delta t = \frac{V \cdot \Delta P}{Q}. \quad (8.8)$$

В серийном производстве, как правило, используются манометры с автоматической записью падения давления во времени. Принципиальная схема проверки герметичности бака-емкости ЛА способом спада давления изображена на рис. 8.3.

Проверка герметичности производится следующим образом. Сжатый воздух по трубопроводу 7 от цеховой сети низкого давления порядка $4 \cdot 10^5$ Па проходит через воздушный фильтр 6. Редуктор 4 отрегулирован на максимально допустимое для испытуемого бака давление. Открытием пускового крана 5 и пе-

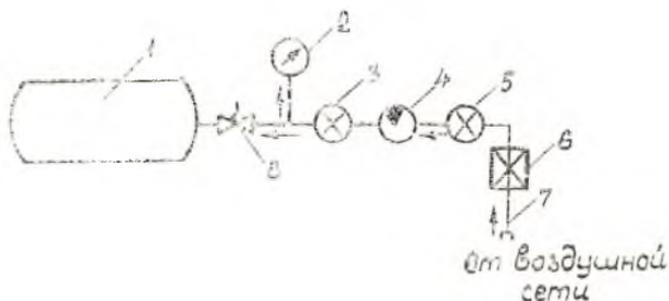


Рис. 8.3. Принципиальная схема проверки герметичности способом спада давления

перекрытого крана 3 внутреннюю полость бака 1 ЛА заполняют воздухом через предохранительный клапан 8. Доведя избыточное давление до заданного, перекрывают кран 3. Воздух через имеющиеся в баке неплотности будет постепенно вытекать, а избыточное давление будет падать, пока не сравняется с паружным атмосферным. Манометр 2 автоматически запишет на специальной ленте достигнутое максимальное избыточное давление внутри бака и время его падения до нормального.

Этот способ применяется как предварительный для проверки баков-емкостей, пневмогидросистем и арматуры.

Если скорость падения давления больше допустимой, место утечки устанавливается на слух с помощью слуховых трубок — фонендоскопов или ультразвуковых теченскателей.

Вакуумный манометрический метод испытания на герметичность реализуется в производстве ЛА тремя основными способами: повышения давления в отвакуумированной полости, натекания в вакуумную камеру и сравнения с контрольной течью.

Способ повышения давления в отвакуумированной полости предусматривает создание вакуума внутри испытуемого отсека воярдка 10^{-1} Па, выдержку отсека в течение заданного времени и определение величины натекания газа за этот период из окружающей атмосферы [3]. При этом способе негерметичность оценивается величиной натекания газа в единицу времени по формуле

$$Q = \frac{(P_2 - P_1)V}{\tau} \cdot 0,95, \quad (8.9)$$

где Q — величина натекания газа из атмосферы, (Па·м³/с);

P_1 — давление в начале замера, Па;

P_2 — давление в конце замера, Па;

V — объем испытуемого отсека (бака);

τ — время между замерами (выдержка) с;

0,95 — КПД азотной ловушки.

Как видно из рис. 8.4, вакуум внутри объекта 7 создается последовательным включением механического 1 и пароструйного 2 насосов, а также после заливки в ловушку 6 жидкого азота. После достижения заданного вакуума внутри изделия закрывается затвор 3. После выдержки в заданное время по вакуумметру 4 определяется с помощью датчика 5 величина давления в начале и в конце выдержки и по формуле (8.9) подсчитывается величина натекания газа в единицу времени. В производстве ЛА применяют технологический вариант описанного способа: натекание в вакуумную камеру [3].

Отличие данного варианта способа от предыдущего в том, что вакуум создают в полости вакуумной камеры, в которую помещают объект испытания. О негерметичности судят по раз-

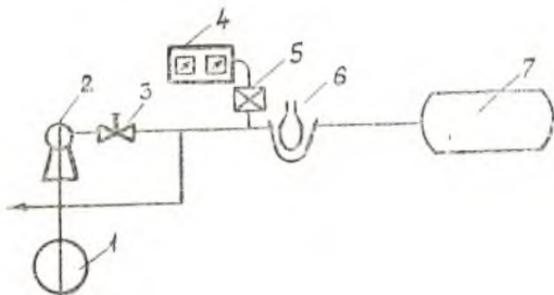


Рис. 8.4. Принципиальная схема проверки герметичности способом повышения давления в отвакуумированной полости

ности величин натекаания в вакуумную камеру в момент заполнения объекта испытания воздухом под избыточным давлением и без него.

Чувствительность данного способа зависит от габаритов и конфигурации контролируемых агрегатов ЛА и находится в пределах $Q_{\min} = 10^{-1} \dots 10^{-2}$ мкм·л/с ($1,33 \cdot 10^{-5} \dots 1,33 \cdot 10^{-6}$ Па·м³/с).

8.2.4. Гидроаналитические методы контроля баков-емкостей на герметичность

Гидроаналитические методы имеют достаточно высокую чувствительность порядка $10^{-1} \dots 10^{-4}$ мкм·л/с ($1,33 \cdot 10^{-5} \dots 1,33 \times 10^{-8}$ Па·м³/с), при этом в большинстве случаев не требуют сложного технологического оснащения и оборудования, отличаются простотой реализации при незначительной затрате труда.

8.2.5. Гидростатический метод испытания на герметичность и способы его применения

Гидростатический метод предусматривает заполнение испытываемого объекта жидкостью (водой с хромпиком, керосином, маслом и т. д.), создание в объекте необходимого давления и выдержку в течение заданного времени. Оценка герметичности производится по наличию следов жидкости на поверхности объекта. Этих следов либо совсем не должно быть, либо допускается появление на поверхности бака-отсека в единицу времени установленного чертежом количества капель жидкости. При использовании указанного метода применяются несколько способов.

Визуальный способ — определение мест неплотностей визуально, путем осмотра поверхности бака-отсека. При этом обеспечивается чувствительность проверки $Q_{\min} = 10 \dots 10^{-1}$ мкм·л/с ($1,33 \cdot 10^{-4} \dots 1,33 \cdot 10^{-5}$ Па·м³/с).

Способ фильтровальной бумаги — определение наличия и мест неплотностей по пятнам на фильтровальной гигроскопической бумаге, накладываемой на внешнюю поверхность испытуемого объекта. При этом способе возможна приближенная количественная оценка герметичности путем замера диаметра пятна жидкости и определения времени жидкости по специальным тарировочным графикам (рис. 8.5). На рис. 8.5 приведена

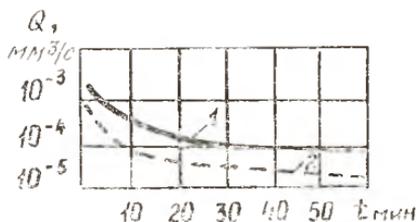


Рис. 8.5. Зависимость чувствительности способа фильтровальной бумаги от времени выдержки

зависимость чувствительности этого способа от времени выдержки τ для двух величин диаметров пятна масла на фильтровальной бумаге. Чувствительность контроля практически повышается при выдержке не более 10...15 минут.

Чувствительность этого способа $Q_{\min} = 10^{-3} \dots 10^{-4}$ мкм л/с ($1,33 \cdot 10^{-7} \dots 1,33 \cdot 10^{-8}$ Па·м³/с).

Способ меловой обмазки — напыление или нанесение кистью на внешнюю поверхность бака-отсека жидкого мелового раствора и его сушка. В этом случае мельчайшие течи будут четко проявляться в виде темных пятен на поверхности высушенного мелового раствора.

Чувствительность проверки герметичности данным способом обеспечивается на уровне $10^{-2} \dots 10^{-3}$ мкм·л/с ($1,33 \cdot 10^{-6} \dots 1,33 \times 10^{-7}$ Па·м³/с).

8.2.6. Химический метод испытания на герметичность и способы его применения

Химический метод испытания основан на видимом эффекте вступления в химическую реакцию жидких пробных веществ с различными индикаторными средствами. При испытании баков-отсеков, топливных систем, трубопроводов и т. п. данный метод реализуется в основном двумя способами: хемсорбционным и хромоэффекта (метод проникающих жидкостей—МПЖ).

Хемсорбционный способ предусматривает заполнение объекта испытания рабочей жидкостью (компоненты топливных систем ЛА) под давлением, отбор паров рабочей жидкости с внешней поверхности объекта, их накопление в специальной камере и транспортировку к индикатору. Индикатор представляет собой прозрачную трубку с помещенным в нее специальным порошком, сорбирующим и реагирующим с парами рабочей жидкости. В качестве индикатора также применяют специальные ленты или индикаторную бумагу.

Принципиальная схема хемсорбционного способа представлена на рис. 8.6. Пары топливных компонентов от объекта собирают в камере 2. Открывая вентиль 11, из ресивера 10 напускают в камеру газ-носитель (O_2). Затем парогазовая смесь через вентиль 3 направляется в полость индикаторной трубки 6 с определенным расходом. Расход смеси, равный 0,05 л/мин, при открытом вентиле 7 устанавливается с помощью вакуумного насоса 9 и контролируется по ротаметру 8.

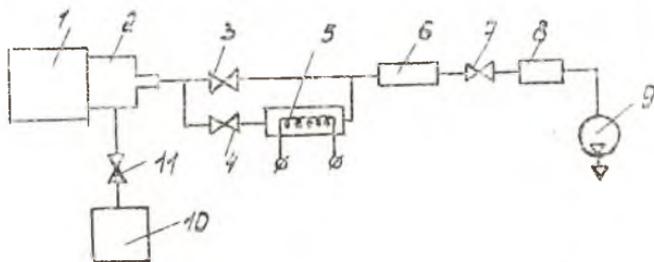


Рис. 8.6. Принципиальная схема хемсорбционного способа

Чувствительность испытаний определяется при открытом вентиле 4 путем пропускания через индикаторную трубку паров рабочей жидкости, часть которой специально испаряется с помощью нагревателя 5.

Чувствительность хемсорбционного способа находится в пределах $Q_{\min} = 10^{-1} \dots 5 \cdot 10^{-2}$ мкм · л/с ($1,33 \cdot 10^{-5} \dots 6,65 \cdot 10^{-6}$ Па · м³/с).

Количественная оценка негерметичности проводится по видимому эффекту изменения цветности индикаторного порошка, находящегося в трубке определенной длины, в зависимости от потока газов рабочей жидкости (рис. 8.7).

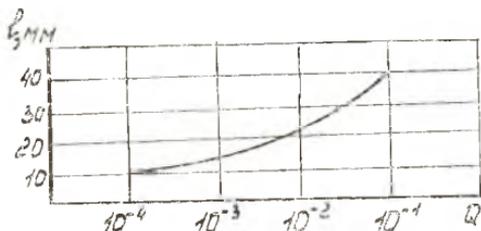


Рис. 8.7. Зависимость изменения цветности индикаторного порошка (в трубке определенной длины) от потока паров рабочей жидкости

Способ хромоэффекта нашел широкое применение в последнее время. Поэтому рассмотрим его более подробно.

Сущность способа состоит в следующем (рис. 8.8): во время гидронспытаний полости объекта испытания заполняются технологической жидкостью, представляющей собой водный раствор хромпика с технологическими добавками. Технологические добавки обеспечивают максимальную проникающую способность жидкости. На поверхность объекта испытания нано-

сится индикаторная масса или лента, изменяющая свой цвет при взаимодействии с хромпиком.

Чувствительность метода при контроле герметичности сварных швов и целого материала — $1 \cdot 10^{-2} \dots 1 \cdot 10^{-3}$ л·мм рт. ст./с ($1,33 \cdot 10^{-6} \dots 1,33 \cdot 10^{-7}$ Па·м³/с). Применение гидравлического метода контроля герметичности позволяет сократить общую продолжительность и трудоемкость испытаний, исключить применение сложного пневматического оборудования и резко повысить безопасность испытаний.

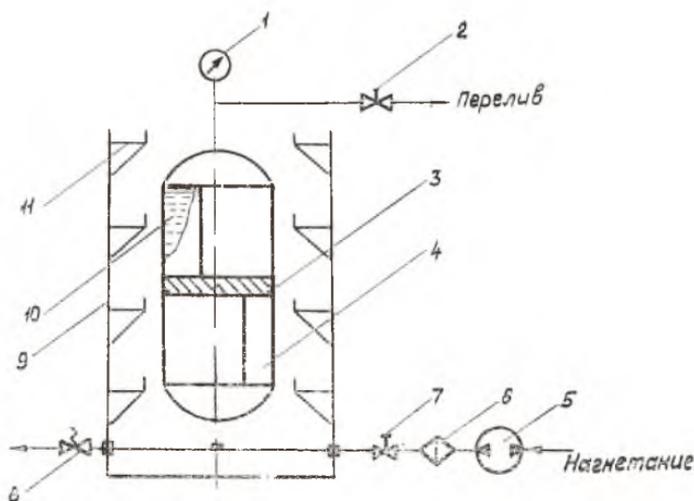


Рис. 8.8. Принципиальная схема способа хромоэффекта (метода проникающих жидкостей): 1 — манометр; 2 — сливной клапан; 3 — индикаторная лента (масса); 4 — объект испытания (бак); 5 — гидронасос; 6 — фильтр; 7 — заправочный клапан; 8 — предохранительный клапан; 9 — гидростенд; 10 — контрольная жидкость; 11 — насталь

Материалы, применяемые для контроля герметичности

Контрольная жидкость

Для контроля герметичности способом проникающих жидкостей применяется жидкость следующего состава:

калий двуххромовокислый $K_2Cr_2O_7$ — ГОСТ 4220—75	или	натрий двуххромовокислый $Na_2Cr_2O_7$ — ГОСТ 4237—76	0,1 ÷ 0,2%
синтанол ДТ-7 ТУ 6—14—458—70			0,01 ÷ 0,015%
допускается введение второго ингибитора — натрия фосфорнокислого двузамещенного Na_2HPO_4 — ГОСТ 4172—76			0,004 ÷ 0,006%
дистиллированная или обессоленная вода			остальное

Индикаторные массы и ленты

Индикаторная масса, применяемая для фиксации течей, изменяет свой цвет под действием хромпика, содержащегося в технологической жидкости. Индикатором, изменяющим свой цвет при взаимодействии с ионами шестивалентного хрома, является дифенилкарбозид. Остальные компоненты обеспечивают необходимые технологические свойства массы.

Для контроля герметичности применяются два варианта масс: масса М-1 с наполнителем — каолин и масса М-2 — с наполнителем — агар (табл. 8.2 и 8.3).

Таблица 8.2

Масса М-1

Компоненты	Содержание, вес, %	
	для пистолета-распылителя	для кистевания
Каолин	30—32	32—35
Глицерин	25—30	25—30
Синтанол ДТ-7	—	0,1—0,15
Дифенилкарбозид	0,5—0,6	0,5—0,6
Кислота фосфорная	до $pH=3-4$ (0,15%)	до $pH=3-4$
Спирт	9—10	9—10
Вода дистиллированная (обессоленная)	остальное	остальное

Таблица 8.3

Масса М-2

Компоненты	Содержание, вес, %	
	для пистолета-распылителя	для кистевания
Агар	1,2—1,5	2,2—2,5
Глицерин	8—9	25—26
Аурамин 00	0,01	0,01
Дифенилкарбозид	0,5—0,6	0,5—0,6
Кислота фосфорная	до $pH=3-4$ (0,15%)	до $pH=3-4$ (0,15%)
Спирт	9—10	10—12
Дистиллированная вода (обессоленная)	остальное	остальное

Приготовление индикаторных масс производится на специальной установке.

Индикаторные ленты применяются в тех случаях, когда нанесение и удаление массы затруднено или невозможно.

Готовые индикаторные ленты, свернутые в рулон, хранятся в закрытой таре в темном месте. На поверхности изделия ленты крепятся с помощью прозрачной полиэтиленовой ленты с липким слоем или клея, представляющего собой раствор 40% декстрина, 30% глицерина и 0,1% синтанола ДТ-7 в дистиллированной воде. Готовые индикаторные массы контролируются на концентрацию водородных ионов ($pH = 3-4$) и на чувствительность к действию рабочей жидкости.

Организация испытательного участка

Требования к испытательному участку
и оборудованию

Гидравлические испытания следует проводить в закрытом помещении на испытательном участке.

Испытательный участок должен отвечать следующим требованиям:

должны быть выполнены правила техники безопасности;
освещение помещения (общее и местное) должно обеспечивать хорошую видимость всей контролируемой поверхности. Испытательный участок необходимо оборудовать переносными лампами;

при нанесении индикаторной массы пистолетом-распылителем испытательный участок должен быть оборудован системой подачи чистого, сухого сжатого воздуха под давлением до 0,6 МПа в пистолеты-распылители и снабжен вытяжной вентиляцией;

испытательный участок должен быть оборудован водопроводно-канализационной сетью;

на магистралях заполнения объекта рабочей жидкостью должны быть установлены фильтры.

Требования по технике безопасности
и охраны труда

1. При проведении гидравлических испытаний необходимо руководствоваться ОСТ 92—0158—70.

2. К проведению испытаний допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе с высокими давлениями и ознакомленные с методикой проведения испытаний на герметичность.

3. Нанесение индикаторной массы на поверхность изделия должны производить лица, обученные работе с пистолетом-распылителем и имеющие необходимые навыки.

4. В период испытания нельзя оставлять без наблюдения нуль управления стендом.

5. Приготовление и разлив индикаторной массы производится в резиновых перчатках и защитных очках.

6. При нанесении массы пистолетом-распылителем во избежание попадания частиц массы в дыхательные пути пользоваться респираторами и защитными масками.

7. Работы, связанные с хромпиком и его растворами, следует производить в резиновых перчатках, х/б халате, фартуке, сапогах и в защитных очках.

Требования к объекту испытания

1. Гидравлический метод контроля герметичности целесообразно применять для испытания сварных швов целого материала узлов и систем, конструкция которых допускает заполнение их рабочей жидкостью без газовых подушек и пузырей. Контролируемая поверхность объектов испытаний должна позволять равномерное нанесение индикаторной массы, визуальный осмотр для определения мест утечки и удаление массы после испытаний.

2. Объект, поступающий на испытания, должен соответствовать техдокументации и подвергаться внешнему осмотру.

3. Перед испытаниями на объект устанавливается технологическая оснастка в соответствии с технологическим процессом.

4. Требования к объектам в части подготовки к испытаниям и обработки их после испытаний (промывка, сушка, обезжиривание и т. п.) устанавливаются на основании ТУ на объект и подробно излагаются в технологических процессах на испытания.

Технологический процесс контроля герметичности способом хромоэффекта

Технологический процесс проводится в следующей последовательности (см. рис. 8.8):

1. Промыть поверхность объекта испытания раствором синтанола ДТ-7 или ОП-7 в воде с концентрацией 2—3 г/л или салфеткой, смоченной в бензине.

2. Просушить поверхность объекта путем обдува сжатым воздухом, протиркой салфетками или естественной сушкой.

3. Заполнить объект испытания контрольной жидкостью. Заполнение производить до момента перелива жидкости через штуцер, расположенный в самой верхней точке объекта. Во вре-

мя заполнения для отделения газовых пузырьков рекомендуется обстучать объект снаружи резиновым молотком (при переливе жидкости не допускать ее попадания на испытываемые поверхности, в противном случае поверхность объекта тщательно промыть водой до полного удаления хромпика. Полноту удаления хромпика контролировать индикаторной массой).

4. Провести опрессовку объекта испытания.

5. Нанесение индикаторной массы осуществлять при давлении в объекте $0,5 P_{\text{макс}}$ пистолетом-распылителем (или кистью) до полного покрытия, контроль визуальный. Расход масс на 1 м^2 контролируемой поверхности равен: массы М-1 — $0,1\text{—}0,2 \text{ кг}$; массы М-2 — $1\text{—}1,5 \text{ кг}$.

6. Выдержать объект испытания при давлении $P_{\text{оem}}$ один час.

7. Произвести визуальный осмотр контролируемой поверхности с целью обнаружения малиновых пятен, свидетельствующих об утечке рабочей жидкости через микронеплотности. В сомнительных случаях, когда имеется подозрение на «ложные пятна», на эти места накладывается фильтровальная бумага или салфетка, смоченная 4% раствором H_3PO_4 . Ложные пятна под действием H_3PO_4 исчезают, а пятна, вызванные утечкой контрольной жидкости, остаются. Отметить места течей.

8. После определения мест течей удалить индикаторную массу. Индикаторную массу удалять мокрыми салфетками или поливом водой. Шероховатые поверхности или труднодоступные места рекомендуется одновременно с поливом водой обрабатывать жесткими волосяными щетками или ершами.

9. После удаления массы осушить поверхность объекта испытания протиркой салфетками, обдувом струей сжатого воздуха, естественной сушкой или другими способами.

10. Качество удаления массы М-1 контролировать визуальным осмотром на отсутствие на испытываемой поверхности белого налета каолина. В случаях, когда есть сомнения в полном удалении массы, выборочно проконтролировать испытываемые поверхности на отсутствие дифенилкарбозида. Методика контроля следующая: смочить белую х/б салфетку, свернутую в тампон, спиртом и тщательно протереть ею выбранный участок испытываемой поверхности. Затем на тампон нанести каплю рабочей жидкости, предварительно подкисленной фосфорной кислотой до $\text{pH} = 3\text{—}4$. Если в течение 1 мин цвет капли не изменится на розовый, то удаление массы считать удовлетворительным. Качество удаления индикаторной массы М-2 контролировать на отсутствие желтого красителя на салфетке.

11. Слить рабочую жидкость из объекта испытания.

12. Промыть внутренние полости и просушить объект испытания.

13. Устранить выявленные дефекты и повторить гидроиспытания на прочность и герметичность.

8.2.7. Люминесцентный способ испытания баков на герметичность

В основе метода лежит способность жидкостей, смачивающих стенки капиллярного отверстия, подниматься по каналу капилляра (рис. 8.9). Предельная высота, на которую поднимается жидкость в капилляре, зависит от свойств жидкости и размеров канала и определяется по формуле

$$h = \frac{4 \sigma \cdot \cos \Theta}{d g (\rho_{ж} - \rho_{г})} \quad (8.10)$$

где d — диаметр капилляра;

g — ускорение силы тяжести;

$\rho_{ж}$ и $\rho_{г}$ — плотности жидкости и газа, заполняющих капилляр;

σ — коэффициент поверхностного натяжения жидкости;

Θ — краевой угол, характеризующий смачиваемость стенок капилляра жидкостью.

При $\cos \Theta < 0$ жидкость не смачивает стенок капилляра и не поднимается по нему.

При люминесцентном методе контроля герметичности испытываемую конструкцию заполняют индикаторным пенетрантом. После выдержки конструкции в течение некоторого времени внешнюю поверхность ее облучают ультрафиолетовыми лучами. В местах негерметичности наблюдается свечение, характерное для данного пенетранта, проникающего через микротрещины и микронеплотности. О степени негерметичности можно судить по времени появления свечения в местах неплотностей или по интенсивности свечения пенетранта.

Чувствительность люминесцентного метода в значительной мере зависит от вида индикаторного пенетранта, который обычно представляет собой раствор люминофора в индикаторной жидкости.

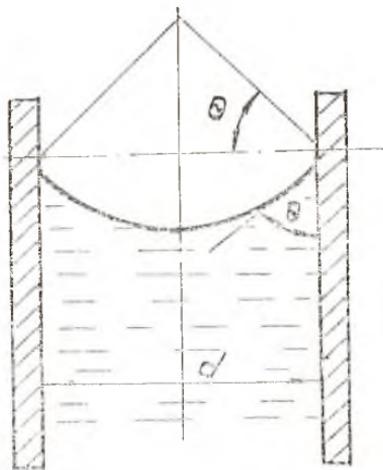


Рис. 8.9. Схема подъема жидкости под действием капиллярных сил

Из известных люминесцентных растворов наилучшей проникающей способностью обладают растворы на основе керосина, наихудшей — на основе воды.

Проверка герметичности длинномерных трубопроводов и крупногабаритных баков-емкостей требует больших затрат времени и энергии.

Поэтому для сокращения трудоемкости испытаний, а также для повышения объективности контроля и повышения чувствительности используют способ флуоресцентного индикатора течи ФИТ-1 (рис. 8.10). Принцип его работы заключается в фиксации фокусирующей линзой 4 на поверхности сканирующей

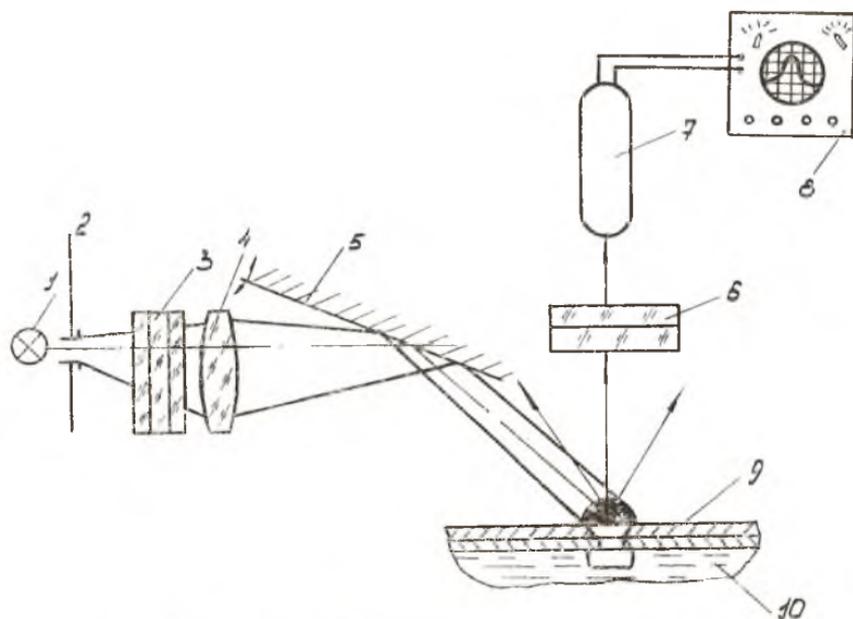


Рис. 8.10. Способ флуоресцентного индикатора течи ФИТ-1

линзы (зеркала) 5 светящейся точки и передаче ее на фотоумножитель 7. Попавший на фотоумножитель люминесцентный свет от дефекта (течи) вызывает электрический сигнал, который усиливается и фиксируется на экране осциллографа или записывается на ленте. В этом случае на экране или ленте осциллографа будет четко виден пик от выявленной негерметичности.

Рассмотрим порядок контроля герметичности с помощью ФИТ-1 на примере бака кессона центроплана самолета. Объект испытания заполняют водным раствором флуоресцирующего вещества уранина (0,01% по объему воды). Выходящий на по-

верхность объекта 8 урана облучает ультрафиолетовым светом от источника 1, проходящим через коллиматор 2, оптический фильтр 3 и фокусирующую линзу 4, которая фиксирует на поверхности зеркала 5 светящуюся точку и передает ее на фотоувеличитель-регистратор 7 через оптический фильтр 6.

Прибор ФИТ-1 представляет собой однолучевую электронно-оптическую систему, которая позволяет при передвижении по объекту одновременно сканировать возбуждающим лучом в непрерывно направлении по контролируемым участкам и непрерывно регистрировать отраженный луч на индикаторном приборе. Перемещение ФИТ-1 по поверхности объекта осуществляется оператором на специальной тележке со скоростью 0,05 м/с. Чувствительность способа не менее $Q_{\min} = 5 \cdot 10^{-3}$ л·мкм/с ($6,65 \cdot 10^{-7}$ м³·Па/с).

8.2.8. Газоаналитические методы испытания баков-емкостей на герметичность

Эти методы проверки герметичности предусматривают заполнение объекта испытания чувствительным пробным веществом (гелием, фреоном, аммиаком, радиоактивным изотопом и т. д.) или смесью пробного вещества с контрольным веществом (азотом, воздухом и т. д.). Оценка герметичности производится посредством специальных устройств газоанализаторов.

Эти методы имеют высокую чувствительность порядка $Q_{\min} = 10^{-4} \dots 10^{-8}$ л·мкм/с ($1,33 \cdot 10^{-8} \dots 1,33 \cdot 10^{-12}$ м³/Па/с), требуют применения сложного и дорогостоящего оборудования и значительной затраты труда.

Масс-спектрометрический метод

Наиболее универсальным и широко применяемым методом испытания баков-емкостей на герметичность, обладающим высокой чувствительностью, является масс-спектрометрический метод (МСМ). Масс-спектрометрия представляет собой метод разделения по массам сложной смеси газов или паров с помощью электрических и магнитных полей.

Масс-спектрометрический течеискатель — это газоанализатор, настроенный на регистрацию содержания одного пробного газа в газовой смеси. В большинстве случаев пробным газом служит гелий.

Масс-спектрометрический анализ сводится к следующим процессам, происходящим в условиях высокого вакуума:

1. Превращение анализируемых молекул в положительные ионы с зарядом «*e*».
2. Создание моноэнергетического ионного пучка посредством ускорения ионов продольным электрическим полем.

3. Разложение ионного пучка на компоненты по значениям m/e , где m — масса заряженной частицы.

4. Регистрация и измерение интенсивности выделенного ионного луча с определенным m/e .

Все указанные процессы осуществляются в трех основных узлах масс-спектрометра (рис. 8.11). В ионном источнике 1, 2 происходит ионизация газа и формирование ионного пучка 4, который в анализаторе разделяется по массам. Выделенный пучок ионов с определенным m/e воспринимается регистрирующим устройством 6, измеряющим его интенсивность.

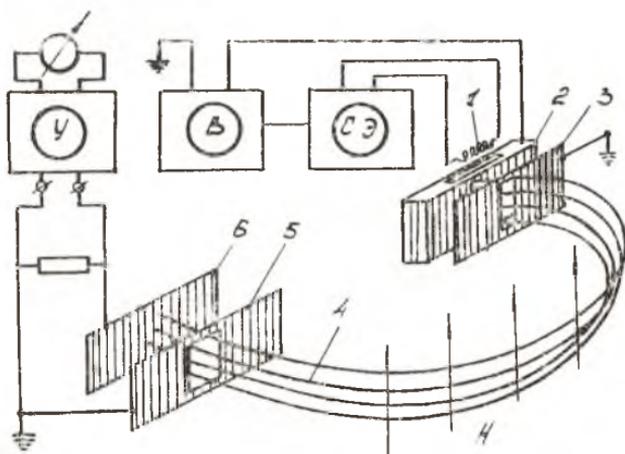


Рис. 8.11. Схема действия масс-спектрометра: 1 — катод; 2 — коробка ионизатора; 3 — входная диафрагма; 4 — ионный луч; 5 — выходная диафрагма; 6 — коллектор; Н — направление магнитного поля; СЭ — стабилизатор эмиссии; В — выпрямитель (разгоняющее напряжение); У — усилитель ионного тока с выходным прибором

Испытания изделий на герметичность с помощью масс-спектрометрического теченскателя производится под вакуумом. Теченскатель своей вакуумной полостью соединяется с испытываемой системой, обдуваемой или опрессованной пробным газом. Частицы пробного газа, проникшие через течи в систему, попадают в масс-спектрометрическую камеру теченскателя и индуцируются.

Основным элементом масс-спектрометра является его ионо-оптическая система — анализатор.

В ионном источнике масс-спектрометра газы, поступающие из испытуемого объекта, в том числе и пробный, ионизируются для того, чтобы подвергнуться разделению в магнитном ана-

лизаторе. В однородном магнитном поле H могут быть разделены по массам ионы, обладающие одинаковой энергией e .

В качестве источника для получения моноэнергетического пучка заряженных частиц наиболее широкое распространение получил источник с накалимым катодом, предложенный Ниром (рис. 8.12).

В источнике Нира накаливаемый вольфрамовый катод K излучает электроны, которые фокусируются магнитным полем H и ускоряются электрополем, приложенным между катодом и камерой ионизатора I . В камеру ионизатора поступает газ, подлежащий анализу. Сталкиваясь с молекулами M этого газа, электроны ионизируют их. Образовавшиеся ионы вытягиваются из камеры, фокусируются в пучок и ускоряются в область ионизатора с помощью системы линз.

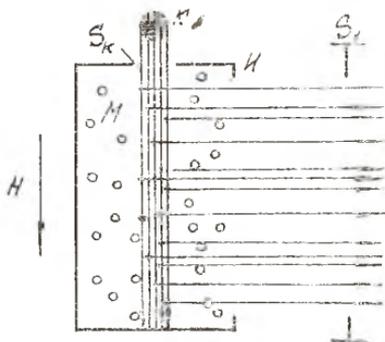


Рис. 8.12. Принцип действия ионного прибора: K — катод; I — коробочка ионизатора; S_1 — входная диафрагма; H — направление магнитного поля; S_k — входная щель для электронов; M — молекулы газовой смеси

Анализ газов, подвергшихся ионизации, производится путем разделения ионов по массам в постоянном магнитном поле. В приборах со 180° фокусировкой ионы, образовавшиеся в источнике с энергией, соответствующей приложенной разности потенциалов U (несколько сотен вольт), слабо расходящимся пучком выходят из входной щели источника и попадают в магнитный анализатор, где происходит разделение ионов по массам. В однородном поперечном магнитном поле анализатора, свободном от электрических полей, под действием Лоренцовой силы ионы будут перемещаться по окружностям, радиус которых

$$R = \frac{mV}{eH} \quad (8.11)$$

зависит от массы m движущихся частиц и их заряда e (скорость V определяется разностью потенциалов источника). Поэтому происходит разделение ионного пучка сложного состава на ряд пучков с фиксированным отношением m/e .

Поставив на пути одного из них коллектор ионов, можно измерить интенсивность пучка, служащего мерой концентрации определенных частиц в смеси газов. Место расположения коллектора на круговой траектории определяется условиями фокусировки.

Упомянутая ранее зависимость, определяющая радиус траектории частиц в магнитном анализаторе, может быть приведена к практически более удобному виду

$$R = \frac{144}{H} \sqrt{MU}, \quad (8.12)$$

где R — радиус круговой траектории, см;

H — напряженность магнитного поля, эрстед;

U — ускоряющее напряжение, В;

M — эффективная масса, равная отношению массового числа частиц к числу ее электрических зарядов.

Коллектор, воспринимающий выделенный пучок ионов, соединяется с землей через высокоомное сопротивление, на котором самые слабые токи создают значительное падение напряжения, достаточное для последующего усиления и индикации.

Для работы с масс-спектрометрическими теческателями в качестве пробного газа обычно выбирается гелий, обладающий следующими достоинствами. Большая чувствительность теческателя получается вследствие малого содержания гелия в атмосфере ($5 \cdot 10^{-4}\%$) и среди газов, выделяемых стенками аппаратуры. В результате этого подлежащий регистрации сигнал появляется на малом фоне (фон — показания, определяемые наличием газа гелия в остаточных газах). Упрощение конструкции масс-спектрометра при работе с гелием определяется его малым атомным весом. Эти преимущества гелия удачно сочетаются с его высокой проникающей способностью и химической инертностью, делающей применение его совершенно безвредным и безопасным в работе.

Теческатель ПТИ-10

Теческатель ПТИ-10 (рис. 8.13) является в настоящее время последней более совершенной модификацией по сравнению с широко применяемым прибором ПТИ-7 и предназначен для испытания на герметичность различных объектов и систем масс-спектрометрическим методом.

Технические данные

минимальный регистрируемый поток гелия, не более	$7 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$
напряжение питающей сети	220 В / 380 В \pm 22 В / 38 В
трехфазная промышленная сеть	
мощность, потребляемая теческателем при номинальном напряжении сети, не более	900 ВА
паралотка на отказ	2500 ч
габаритные размеры	1400 \times 675 \times 620 мм
масса	170 кг

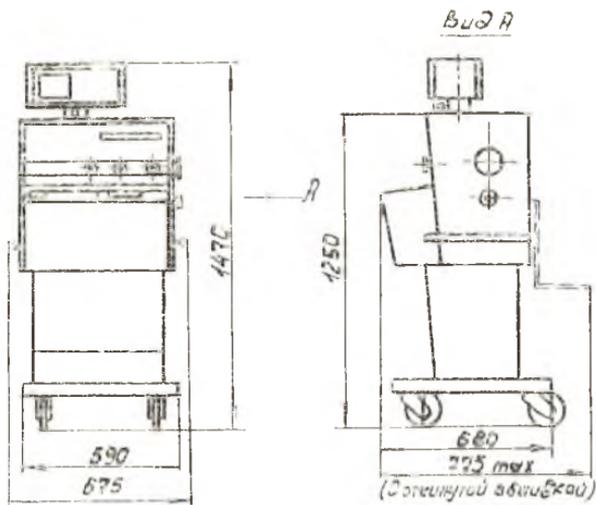


Рис. 8.13. Общий вид теческателя ПТМ-10

В теческателе имеется стрелочный индикатор течи, акустический индикатор с регулировкой громкости и световой индикатор. При внезапном повышении давления в вакуумной системе теческателя срабатывает вакуумная блокировка — отключается канал ионного источника масс-спектрометрической камеры (МСК).

При отключении сетевого напряжения автоматически переключается линия предварительного разряжения паромасляного насоса и напускается воздух в пластинчато-роторный насос.

Принцип действия и блок-схема прибора

Прибор работает следующим образом: испытываемый объект, присоединенный к теческателю, обдувается пробным газом (гелием); частицы гелия, проникшие через течь и дросселирующий вентиль в вакуумную систему теческателя, попадают в камеру масс-спектрометра (см. блок-схему прибора на рис. 8.14). Здесь, в ионном источнике камеры, газы, в том числе и гелий, ионизируются за счет бомбардировки электронами, испускаемыми накалившимся катодом. Между ионизатором и диафрагмой ионного источника приложена ускоряющая ионы разность потенциалов (ускоряющее напряжение). С энергией, соответствующей приложенной разности потенциалов, ионы выходят пучком через щель диафрагмы в магнитный анализатор, где происходит разделение ионов по массам. В магнитном поле частицы, обладающие начальной энергией, движутся по круговым траектори-

ям, радиус которых при неизменном магнитном поле зависит от их массы и энергии. Устанавливая определенное ускоряющее напряжение, можно настроить масс-спектрометр так, что на коллектор ионов, помещенный в камере под углом 180° к ионному источнику, будут попадать только ионы гелия (настройка на «ПИК» гелия). Чтобы одновременно с ионами гелия на коллектор не попадали ионы других масс, потерявших энергию в результате столкновений и случайно попавшие на рабочую траекторию, перед коллектором помещается супрессор-подавитель фона.

На одну из сеток супрессора подается потенциал, тормозящий пролетание ионов. Лишь ионы, обладающие полной энергией, оказываются в состоянии преодолеть этот потенциальный барьер и попасть на коллектор. Попавшие на коллектор ионы деионизируются на нем, вызывая протекание тока по сопротивлению в цепи коллектора. Малая величина ионных токов приводит к необходимости применять сопротивление весьма большой величины (порядка $10^{11} - 10^{12}$ Ом), чтобы падение напряжения на нем было достаточным для дальнейшего его усиления. Коллектор ионов соединен со входом электрометрического каскада усилителя постоянного тока.

Изменения ионного тока регистрируются стрелочным прибором блока измерения ионного тока, звуковым и световым индикаторами.

Для контроля чувствительности теческателя служит калиброванная гелиевая течь (гелит).

Рабочее давление в МСК обеспечивается откачной системой, состоящей из пластинчато-роторного и паромасляного насосов и азотной ловушки, защищающей камеру от замасливания. Контроль давления в линии предварительного разряжения и в высоковакуумном объеме теческателя осуществляется с помощью манометрического преобразователя ПМТ-4М и вакуумного датчика. Управление вакуумной системой теческателя при его включении, выключении и работе производится с помощью пультов.

Блокировка защищает теческатель от выхода из строя при внезапном отключении от сетевого напряжения.

Структурная схема теческателя представлена на рис. 8.15. Как видно из структурной схемы, теческатель состоит из двух основных частей: вакуумной системы и электронной схемы. Электронная схема теческателя состоит из блока измерения ионного тока (БИИТ-9) с выносным электрическим каскадом (Э-3-2), блока питания камеры (БПК-9), блока измерения давления (БИД-10), блока питания вакуумных клапанов (БПК-10), панели управления (ПУ-10).

Вакуумная система теческателья (см. рис. 8.14) состоит из масс-спектрометрической камеры с постоянным магнитом, паромасляного насоса, пластинчато-роторного насоса, семи клапанов, калиброванной гелиевой течи, азотной ловушки, вакуумного датчика и термопарного манометрического преобразователя.

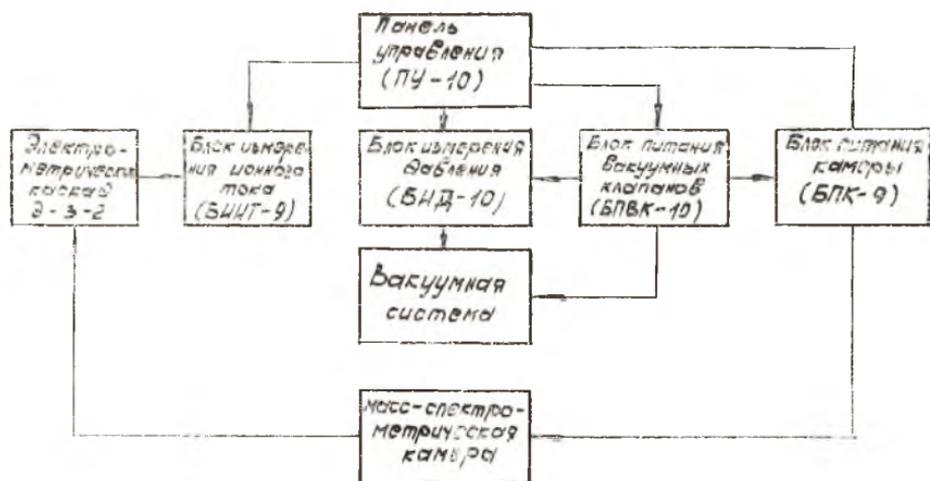


Рис. 8.15. Структурная схема теческателья ПТИ-10

8.2.9. Способы и технологические варианты проверки герметичности при применении масс-спектрометрического метода

Способ вакуумирования

Проверяемое изделие помещается в вакуумную камеру. Изделие (бак, емкость, баллон и т.п.) заполняется гелием или смесью с воздухом и в нем создается предусмотренное избыточное давление. В вакуумной камере создается необходимый вакуум. Через определенное время при помощи теческательей ПТИ-7, ПТИ-10 производится оценка количества гелия, вытекающего из изделия в вакуумную камеру.

Этот способ в зависимости от формы, габаритов проверяемого изделия, требований герметичности применяется в нескольких технологических вариантах [3]: в стационарных вакуумных камерах; вакуумных камерах с принудительным накоплением; разъемных вакуумных камерах; местных вакуумных камерах (присосках).

Схема проверки герметичности вакуумным способом в стационарной камере изображена на рис. 8.16. Испытываемое изделие

лие 2 установлено на подставке 22 в вакуумной камере. Изделие при помощи заправочного клапана 3, вентиля 4, трубопровода, вентиля 12 соединено со смесителем 11. В смесителе воздух, подаваемый из сети цеха, смешивается с гелием из баллона. Заданное давление в смесителе контролируется по манометру 10. В систему смесителя включены необходимые фильтры для очистки воздуха и гелия. Блок из механического вакуумного насоса 17 и паромасляного насоса 19 с электроннагревателем 18 посредством трубопровода и затвора 21 соединен с вакуумной камерой. В систему соединения вакуумного блока с вакуумной камерой включен натекаль 20. Контроль величины вакуума, создаваемого в камере, осуществляется при помощи манометрического датчика 7 и термомпарного манометрического датчика 8, соединенных трубопроводом 5 с вакуумметром 6. Течеискатель типа ПТИ-7 (ПТИ-10)-16 через вентиль 15, трубопровод 14 и вентиль 13 соединен с вакуумной камерой для определения в ней наличия гелия. Пневмоцилиндр 9 служит для управления пневмоцилиндрами крепления и перемещения подставки.

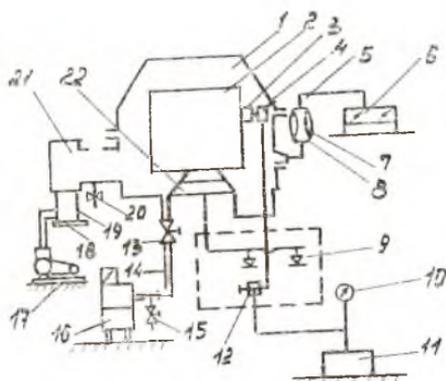


Рис. 8.16. Схема установки для испытаний способом вакуумирования в стационарных камерах

Высокая стоимость и сложность испытания в стационарных вакуумных камерах, а также необходимость проверки герметичности элементов стыков, швов, частей поверхности емкостей обусловили применение более экономичных технологических вариантов этого способа. Такими вариантами являются вакуумные присоски и местные разъемные вакуумные камеры. Чувствительность этих вариантов испытаний близка к испытаниям в стационарных вакуумных камерах.

На рис. 8.17 приведена блок-схема проверки герметичности при применении вакуумной присоски. Вакуумная присоска 5 накладывается на поверхность проверяемой емкости 6, заполненной пробным веществом — гелием. Воздушно-гелиевая смесь поступает в емкость 6 из баллонов с гелием 9, сжатым воздухом 10 с последующим смешением в смесителе 8 через кран 7. Включением при помощи соединительного шланга дополнительного механического форвакуумного насоса 11 создается предусмотренный технологическим процессом предварительный вакуум

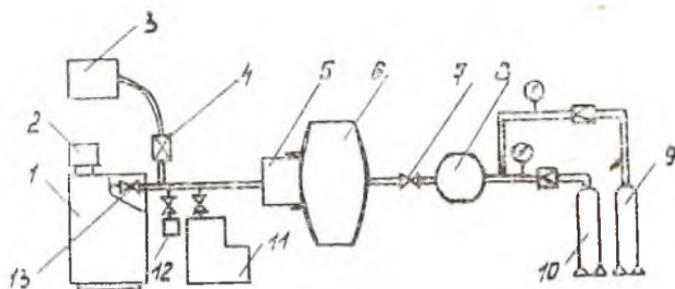


Рис. 8.17. Принципиальная схема установки контроля герметичности способом вакуумирования с применением вакуумной присоски

в полости присоски, который контролируется вакуумметром 3, подключенным через термопарный датчик 4. После отключения форвакуумного насоса открывается вентиль 13, в результате чего внутренняя полость присоски соединяется с вакуумной системой теческателя. При наличии в проверенном изделии течи пробное вещество — гелий проникает во внутреннюю полость присоски и далее в камеру масс-спектрометра теческателя, в котором степень герметичности оценивается по показаниям пульт-а управления 2. Показания стрелочного прибора теческателя предварительно тарируются по показаниям калиброванной эталонной течи 12.

Подключение присоски и переключение системы проверки герметичности осуществляется при помощи вентиля. Последовательным перемещением присоски проводится проверка герметичности всей внешней поверхности емкости.

Способ обдувания снаружи герметичных швов (разъемов) проверяемого бака-отсека (емкости) с созданием вакуума внутри него

Этот способ в зависимости от габаритов изделия применяется в двух технологических вариантах: для крупногабаритных — путем обдува швов гелием, а для узлов с малыми габаритами (шары-баллоны) — путем помещения их в гелиевую среду (камеру). В испытываемом объекте создается заданный конструкторской документацией вакуум. Если в швах испытываемого бака имеются течи, то через них внутрь него проникает гелий и с помощью теческателей по его количеству оценивается герметичность.

На рис. 8.18 изображена схема применения способа обдувания при проверке герметичности бака (отсека) ЛА.

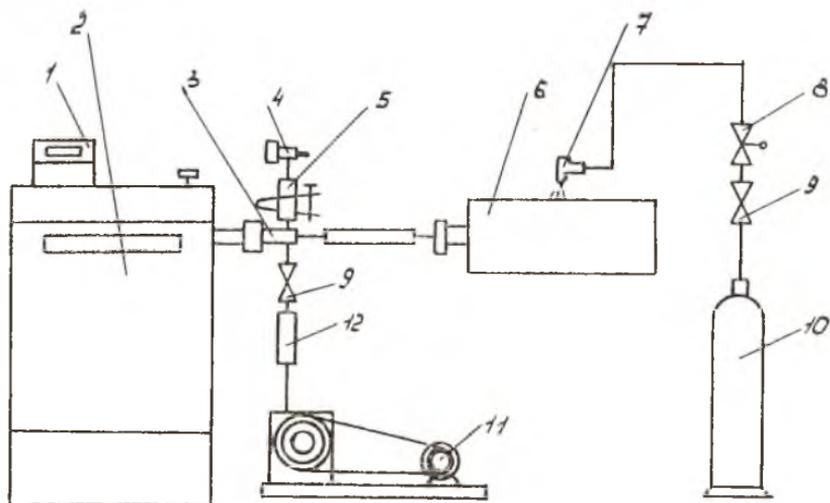


Рис. 8.18. Схема установки для контроля герметичности изделий способом обдувания снаружи герметичных швов: 1 — выносной пульт управления; 2 — течеискатель ПТИ; 3 — азотная ловушка; 4 — эталон течи; 5 — вакуумный шланг с зажимом; 6 — испытуемое изделие (емкость); 7 — обдуватель гелием; 8 — редуктор; 9 — кран; 10 — баллон с гелием; 11 — механический вакуумный насос; 12 — вакуумный шланг

Этот способ обдува крупногабаритных баков применяется редко, т. к. вызывает большой расход гелия и, как следствие, загазованность цеха. Чувствительность — до 10^{-3} л·мкм/с ($1,33 \cdot 10^{-7}$ м³ Па/с).

Способ помещения в гелиевую среду (камеру) широко используется для малогабаритных изделий типа мелких баков, трубопроводов и т. д., а накопление гелия внутри изделия в течение нескольких часов обеспечивает высокую чувствительность до 10^{-5} л·мкм/с ($1,33 \cdot 10^{-9}$ м³ Па/с).

Способ «щупа»

Контроль герметичности способом «щупа» заключается в том, что во внутреннюю полость изделия подается контрольный газ под избыточным давлением. После подачи давления и выдержки изделия в течение определенного времени медленно, со скоростью 0,5...1 см/с, щупом (трубкой с капиллярным отверстием) проводят по контролируемым местам. Щуп через гибкий шланг подсоединен к входному патрубку прибора — течеискателя. Схема испытания дана на рис. 8.19. Через наконечник щупа пробный газ засасывается в вакуумную систему течеискателя и попадает в масс-спектрометрическую камеру. При нали-

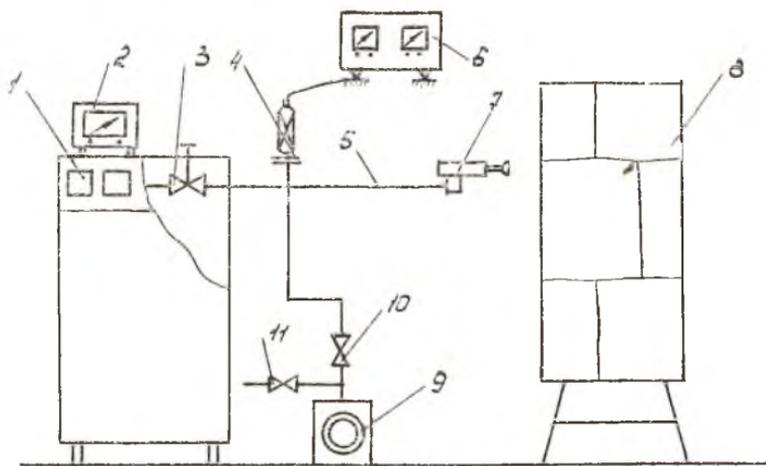


Рис. 8.19. Схема установки для контроля герметичности по способу «щупа»: 1 — течеискатель гелиевый; 2 — выносной прибор управления (ВПУ); 3 — вентиль; 4 — эталон течи; 5 — вакуумный шланг; 6 — измеритель течи; 7 — «щуп»; 8 — испытываемое изделие (емкость); 9 — механический вакуумный насос; 10 — вентиль; 11 — дроссельный край

чи утечки контрольного газа через разъемные уплотнения или сварные швы изделия прибором фиксируется повышенное содержание гелия по сравнению с его концентрацией в чистом атмосферном воздухе. О течи судят по отклонению стрелки прибора ВПУ и изменению тембра звукового сигнала.

Способ накопления при атмосферном давлении

Этот способ применяется для контроля гидрогазовых систем летательных аппаратов и их элементов (соединений, узлов, агрегатов). Он обладает высокой чувствительностью к натеканиям порядка $Q_{\min} = 1 \cdot 10^{-5}$ мк·л/с ($1,33 \cdot 10^{-9}$ м³ Па/с) при масс-спектрометрических испытаниях.

Кроме того, имеется возможность проверки сплошности материала узлов и деталей, агрегатов сложной конфигурации с плохим доступом к местам возможных утечек.

Этот способ менее опасен, так как позволяет производить оценку герметичности по окончании процесса накопления при пониженном или сброшенном давлении.

Способ накопления заключается в следующем (рис. 8.20). Вокруг проверяемого объекта создается замкнутый герметичский объем накопления, изолированный от откачки. Проверяе-

мый объект заполняется под определенным давлением гелием. При наличии неплотностей в проверяемом объекте гелий проникает в замкнутый объем накопления, повышая в нем концентрацию и парциальное давление гелия. Путем ввода в объем накопления шупа-накателя с иглой Льюера с шагом 50...350 мм, соединенного шлангом с теческателем ПТИ-10, регистрируется наличием пробного газа гелия.

Чем больше негерметичность изделия и время накопления, тем большая концентрация гелия создается в объеме накопления.

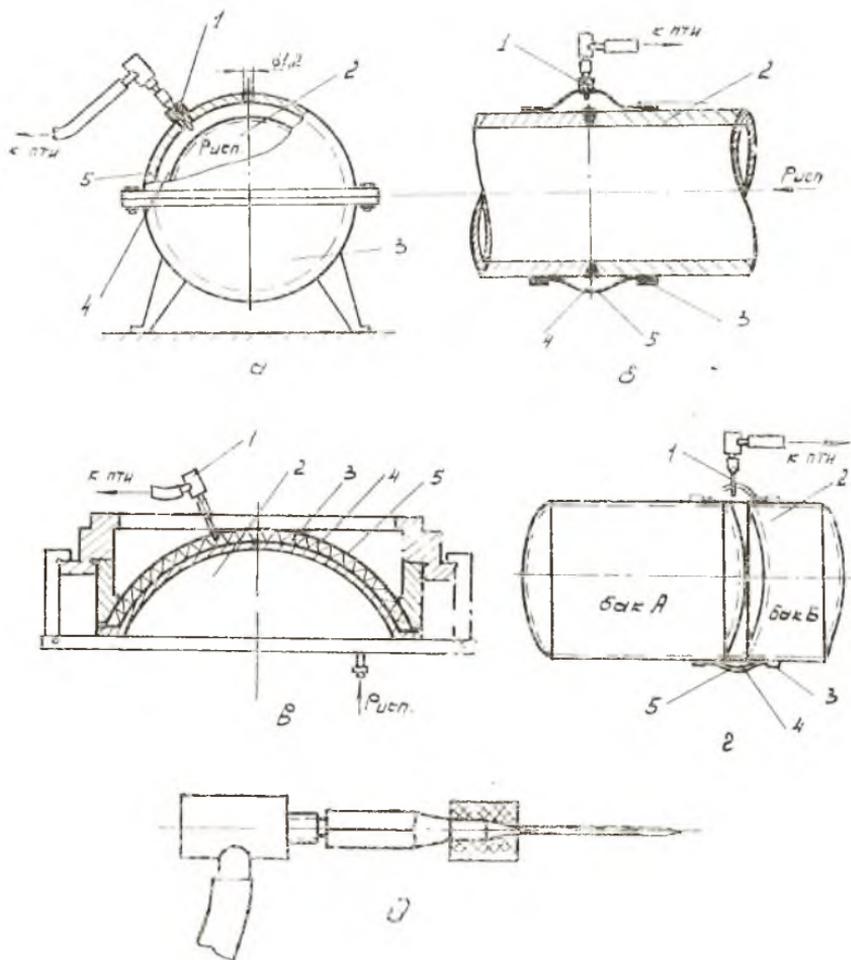


Рис. 8.20. Примеры испытаний на герметичность способом накопления при атмосферном давлении: а — испытание шар-баллона; б — испытание стыка труб; в — испытание днищ; г — испытание межбача; д — игла Льюера; 1 — игла Льюера; 2 — испытываемое изделие; 3 — приспособление; 4 — объем накопления; 5 — пленка полиэтиленовая

Необходимое время накопления составляет 5...120 мин и обуславливается чувствительностью течеискателя.

Конструкция объема накопления может быть выполнена в виде металлического кожуха, камеры или чехла из герметической пленки или ткани и в зависимости от его величины и геометрии (ширины, высоты, зазора между поверхностями) должна предусматривать возможность замера концентрации пробного газа в нескольких точках (зонах) объема накопления с шагом не более 350 мм. Нужно стремиться к тому, чтобы объем был минимальный, а зазор равномерный. На рис. 8.20 показаны примеры объемов накопления при испытании на герметичность шар-баллонов (а) и сварных стыков трубопроводов (б), дниц (в) и межбакового пространства (г).

8.2.10. Способ остаточных устойчивых следов (ОУС)

Способ ОУС основан на использовании химической реакции для обнаружения мест утечки контрольного газа из изделия. Сущность его заключается в том, что на проверяемые поверхности и соединения наносится желеобразная масса в виде эластичной пленки, а объект испытания заполняется контрольным газом под избыточным давлением. Контрольным газом является смесь воздуха с аммиаком.

Индикаторная масса представляет собой водный раствор агар-агара, глицерина и индикатора крезолового красного.

Состав индикаторной массы:

дистиллированная вода (ГОСТ 6709-72) — основа;

глицерин (ГОСТ 6824-76) — 10%;

агар-агар, вымороженный сорт I и II — 1%;

индикатор крезоловый красный, водорастворимый (ВТУ — МХП—3666—52) — 0,0075%;

индикатор крезоловый—красный, спирторастворимый (спирт этил) — 0,0075%.

Например, на 15 кг массы необходимо 13 л дистиллированной воды, 1,5 кг глицерина, 150 г агар-агара, 1,125 г индикаторов, растворимых соответственно в воде и спирте. Точность взвешивания компонентов должна быть до 0,1%. Все компоненты смешиваются и растворяются в дистиллированной воде при температуре $t = 95 \pm 100^\circ\text{C}$. Готовая масса при температуре $t = 60 - 80^\circ\text{C}$ разливается в термостаты и в таком виде наносится на поверхность.

Дадим характеристику индикаторной массе.

Агар-агар — пищевой продукт, содержащий 90% углеводов, 2—3% белков и 3—5% золы, получаемой из морских водорослей. Он добавляется в массу как желеобразующее вещество.

Благодаря агар-агару масса хорошо сцепляется с поверхностью изделия. Наличие глицерина улучшает ее технологические свойства и увеличивает термостойкость. Кислотно-основной индикатор крезоловый красный представляет собой органическое соединение в виде кристаллов. Он применен в двух видах: водорастворимый и спирторастворимый.

Интервал перехода окраски характеризуется величиной водородного показателя* $pH = 7,2 - 8,8$. Нейтральное состояние — янтарно-желтый цвет. При щелочной реакции — малиновый цвет.

Аммиак растворяется в воде и образует щелочное соединение в виде NH_4OH . При этом изменяется водородный показатель индикаторной массы, в результате чего происходит изменение окраски индикаторной массы. NH_4OH — неустойчивый продукт и нуждается в постоянном присутствии аммиака. Минимальная устойчивость малиновых пятен после прекращения контакта индикаторной массы с контрольным газом равна 15 мин.

Устойчивость следов течей позволяет осуществить контроль герметичности изделий без присутствия обслуживающего персонала в момент создания высокого давления, что коренным образом отличает данный метод от применяемых в настоящее время методов обнаружения конкретных мест течи. Эта особенность метода устраняет потенциальную опасность для обслуживающего персонала на случай аварии изделия.

Газовая смесь

В качестве контрольной газовой смеси применяется 1% смесь аммиака в воздуха (по объему). Сжатый воздух должен иметь точку росы не выше $-55^\circ C$ и влажность не более 0,04%. Точка росы — это температура, до которой должен охладиться при неизменном давлении воздух для того, чтобы содержащийся в нем водяной пар достиг насыщения.

Испытание изделий по способу ОУС должно производиться в специальных помещениях, имеющих приточно-вытяжную вентиляцию, канализацию, специальные ограждения и т. п. Схема испытания показана на рис. 8.21. Испытываемое изделие устанавливается в технологическое приспособление, обеспечивающее поворот изделия и его закрепление. Аммиак подается к испытываемому изделию от аммиачно-баллоновой батареи через гульт управления. Сжатый воздух поступает в изделие от сети

* Водородный показатель pH — десятичный логарифм концентрации водородных ионов H^+ (вернее, их активности), взятый с обратным знаком $pH = -\lg [H^+]$. Водородные ионы очень сильно влияют на ход многих химических процессов. Раствор с $pH = 7$ является нейтральным, в нем $[H^+] = [OH^-]$, с $pH > 7$ — щелочным, в нем $[H^+] < [OH^-]$, с $pH < 7$ — кислым, в нем $[H^+] > [OH^-]$.

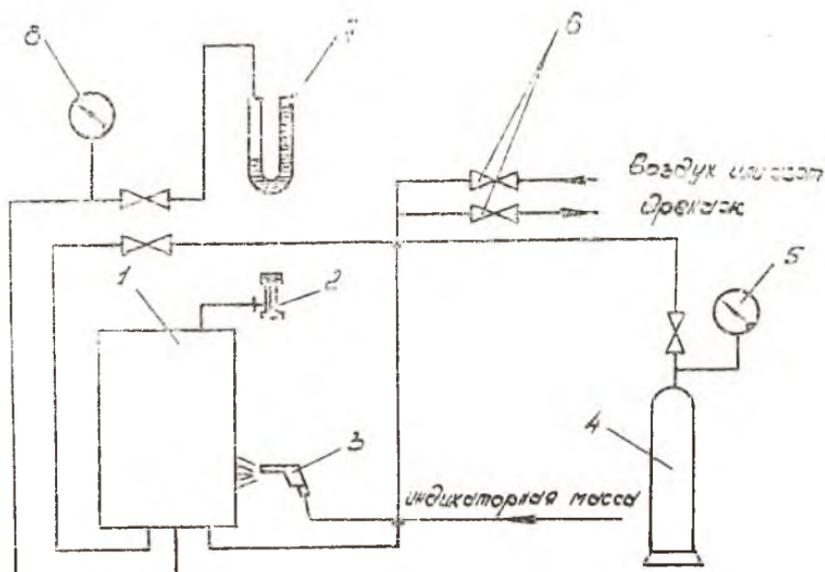


Рис. 8.21. Схема установки для испытания на герметичность способом остаточных устойчивых следов: 1 — испытываемое изделие (емкость); 2 — предохранительный клапан; 3 — пистолет-распылитель; 4 — баллон с аммиаком; 5 — манометр; 6 — кран; 7 — дифференциальный манометр; 8 — манометр

через пневмоульст. Кроме того, имеется установка — смеситель компонентов для приготовления индикаторной смеси, а также термос для поддержания необходимой температуры массы. Дистиллированная вода хранится в специальной емкости и перед подачей в смеситель подогревается в подогревателе. Нанесение массы осуществляется напылением с помощью малярных пистолетов, работающих от сжатого воздуха. Для удаления пленки из агар-агара после испытания с поверхности изделия имеется система подачи воды — дождевальная установка или система сжатого воздуха, а также устройство для сушки изделия. Для промывки внутренней поверхности испытываемых изделий, а также для гидротестирования имеется гидросистема водного раствора хромника.

Все трубопроводы и соединения должны быть выполнены в аммиачном исполнении, тщательно и герметично, так как смесь аммиака и воздуха при концентрации более 15% взрывоопасна.

Особо необходимо обратить внимание на требование к изделию и подготовке поверхности перед испытанием. Сварные швы должны быть зачищены металлическими щетками и крацевальными кругами. Наличие щелочных веществ не допускается, так

как могут появиться ложные пятна. Влажность поверхности контролируемого изделия не допускается. Контролируемые поверхности промываются ацетоном, бензином, спиртом, хромпиком, после чего необходимо промыть изделие дистиллированной водой и тщательно просушить.

Укрупненный технологический процесс испытания на герметичность

Он состоит из следующих операций:

1. Провентилировать помещение.
2. Приготовить индикаторную массу из расчета $1,5\text{--}2 \text{ кг/м}^2$.
3. Залить индикаторную массу в термосы.
4. Подготовить поверхность изделия.
5. Нанести индикаторную массу на поверхность изделия.
6. Проконтролировать качество нанесенной индикаторной смеси.
7. Подсоединить изделие к нульту подачи контрольной смеси.
8. Дать давление газовой смеси ($P_{\text{исп}} = 1,1 P_{\text{габ}}$).
9. Выдержать изделие в течение $15\text{--}20$ минут.
10. Снизить давление до $P_{\text{мин}} = 0,1\text{--}0,3$ ат ($0,01\text{--}0,03$ МПа).
11. Осмотреть изделие.
12. Определить величину утечки контрольного газа через единую течь.
13. Сравнить контрольный газ через вентиляцию в атмосферу.
14. Продуть изделие до полного удаления аммиака.
15. Удалить индикаторную массу струей воды под давлением воздуха механическим способом: скребками, щетками или сжатым воздухом.
16. Осушить изделие обдувом горячим воздухом с $t = 50\text{--}60^\circ\text{C}$.

Режимы нанесения индикаторной массы

Масса распыляется малярным пистолетом 0-31А при температуре $t = 50\text{--}80^\circ\text{C}$. Скорость движения распылителя $50\text{--}100$ мм/с. Расход массы $5\text{--}20$ г/с и $1,5 \text{ кг/м}^2$. Расстояние от пистолета до поверхности изделия — $300\text{--}500$ мм. Давление сжатого воздуха при распылении массы $0,15\text{--}0,3$ МПа. Толщина слоя желеобразной массы $1\text{--}2$ мм. Масса не теряет чувствительности в течение 24 часов. Производительность нанесения массы $3,5 \text{ м}^2/\text{ч}$.

Величина течи определяется по графику рис. 8.22, на котором показана зависимость между утечкой контрольного газа и величиной пятна на индикаторной массе. Чувствительность метода — $5,8 \cdot 10^{-3}$ л·мкм/с ($7,7 \cdot 10^{-7}$ м³ Па/с).

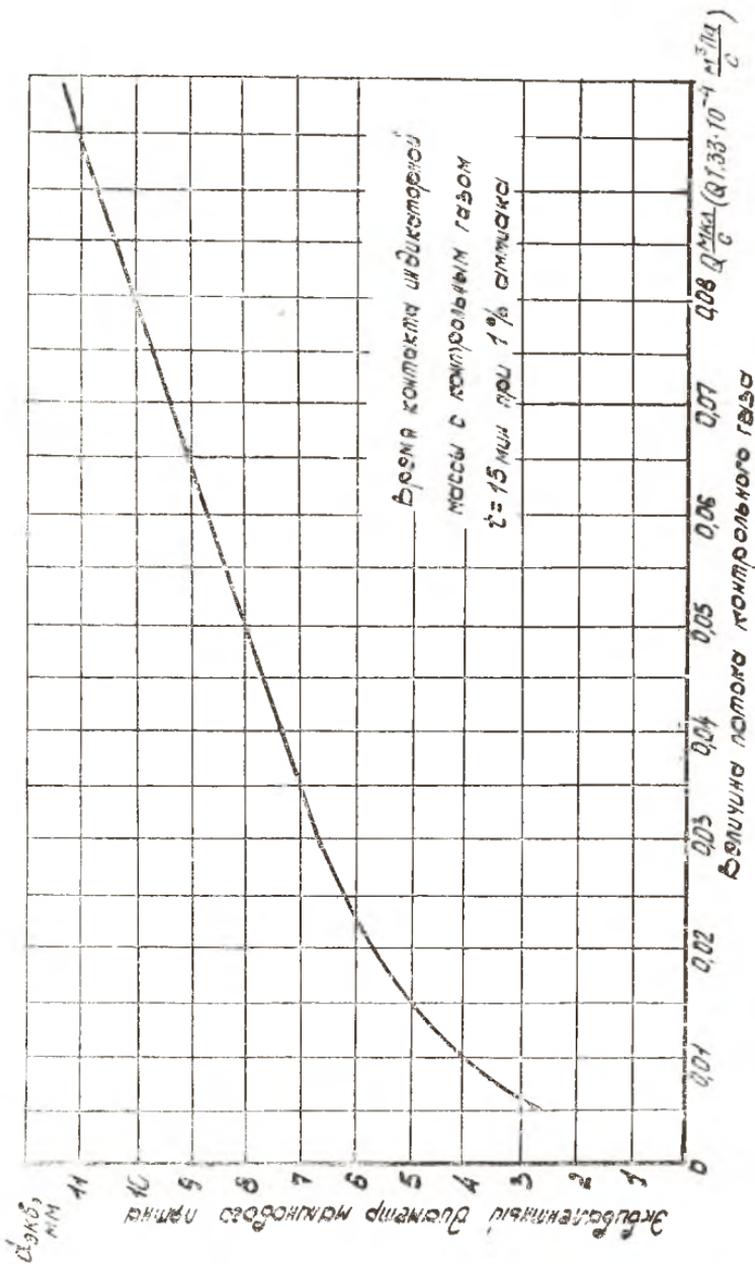


Рис. 8.22. Зависимость между утечкой контрольного газа и величиной малинового пятна (следа) на индикаторной массе

9. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПНЕВМОИСПЫТАНИЯХ БАКОВ ЕМКОСТЕЙ

Испытания, связанные с использованием сжатого воздуха, относятся к числу особо сложных и опасных. Эти испытания могут сопровождаться разрушением испытываемых изделий, образованием осколков и взрывной волны.

Безаварийная и безопасная работа при пневмоиспытаниях зависит от технической подготовленности рабочих и инженерно-технического состава, соблюдения ими технологического режима, правил и инструкций по технике безопасности.

Пневмоиспытания проводят на специальных установках-стендах, к которым предъявляют особые требования в отношении прочности и надежности.

В зависимости от величины произведения испытательного давления $P_{ат}$ ($P_{мпа}$) на объем полости испытываемого изделия V_d ($V_{м^3}$) пневматические испытания по степени опасности подразделяются на несколько групп [2].

Пневмоиспытания изделий при величинах $PV \leq 3000$ ат. л. ($0,3 \text{ МПа} \cdot \text{м}^3$) проводятся на стендах, которые разрешается размещать в производственных зданиях при наличии других производственных процессов. Установки при $PV > 3000$ ат. л. ($0,3 \text{ МПа} \cdot \text{м}^3$), но < 25000 ат. л. ($2,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^3$), как правило, размещаются в изолированных помещениях, при $PV > 25000$ ат. л. ($2,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^3$) установки располагаются на испытательных станциях, удаленных от других производственных помещений.

Проектирование пневмоустановок (стендов) производится специальными проектными организациями или службами предприятия. Испытательный пневмостенд принимается в эксплуатацию специальной комиссией. Испытательные пневмоустановки (стенды) подвергаются периодическим освидетельствованиям, которые проводятся в соответствии с графиками не реже одного раза в год. Пневматические испытания на установках проводят с обязательным применением защитных устройств.

В зависимости от габаритов испытываемых изделий и величины давления применяют следующие виды защит: бронеколпаки, бронешкафы, бронекabiны, бронекaмеры и боксы.

К работе на пневмоустановках допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медосмотр, техническое обучение и имеющие удостоверение на право работы со сжатым воздухом, с ежегодной переаттестацией.

Пневмоиспытания проводят строго по технологическим программам или процессам в соответствии со схемой испытаний под руководством ответственного за испытание, назначенного из числа инженерно-технического состава. Проводить испыта-

ния разрешается только на исправном и принятом в эксплуатацию оборудовании с защитными устройствами, системами блокировки и сигнализации при строгом соблюдении правил и требований техники безопасности.

К подготовке и проведению пневмоиспытаний допускаются только работники, обслуживающие испытательную установку. Допуск посторонних лиц на установку запрещен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Камалов В. С. Производство космических аппаратов. — М.: Машиностроение, 1982. — 280 с.
2. Колотилов Н. Н. и др. Техника безопасности при эксплуатации установок и устройств, работающих под давлением. — М.: МАИ, 1974. — 60 с.
3. Ланис В. А., Левина Л. Е. Техника вакуумных испытаний. — М. — Л.: Госэнергоиздат, 1963.
4. Ракеты-носители (В. А. Александров и др./Под общей ред. С. О. Осипова — М.: Воениздат, 1981. — 315 с.
5. Саножников В. М. Монтаж и испытание гидравлических и пневматических систем на летательных аппаратах. — М.: Машиностроение, 1979. — 256 с.
6. Тарасевич Р. М. Методы и средства проверки герметичности узлов, отсеков и систем летательных аппаратов. — М.: МАИ, 1974. — 128 с.
7. Чернышев А. В. Технология монтажа, отработки, испытаний и контроля болтовых систем летательных аппаратов: Учебн. пособие. — М.: Машиностроение, 1977. — 336 с.
8. Чернышев А. В. Проектирование стендов для испытания и контроля бортовых систем летательных аппаратов. — М.: Машиностроение, 1983. — 384 с.