

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

**В.А. БАРВИНОК, Ю.В. ФЕДОТОВ, Н.П. РОДИН**

# **МОНТАЖНО-ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

САМАРА 2007

УДК 629.7.002:620.165.29

ББК 34.5

К 218



Инновационная образовательная программа "Развитие центра компетенции и подготовка специалистов мирового уровня в области аэрокосмических и геоинформационных технологий"

Рецензенты: д-р тех. Наук, проф. Н.Д. Проничев, гл. техн. ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» Е.П. Семененко.

**Барвинок В.А.**

**Монтажно-испытательные процессы в производстве летательных аппаратов.:** учеб. пособие в 2-х частях/ *В.А. Барвинок, Ю.В. Федотов, Н.П. Родин.* - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. - 144 с.

Пособие состоит из 2-х частей.

В первой части пособия 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.

Во второй части пособия рассмотрены технологические особенности изготовления рулевых машинок системы управления летательным аппаратом. Большое внимание уделено специальным видам испытаний, обеспечивающим надежную работу рулевых машинок в сложных условиях эксплуатации Л.А.

Пособие предназначено для студентов дневного и вечернего обучения факультета летательных аппаратов, слушателей ФПК ИТР и может быть полезно для инженерно-технических работников аэрокосмической отрасли.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

**В.А. БАРВИНОК, Ю.В. ФЕДОТОВ, Н.П. РОДИН**

**ЧАСТЬ I**

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

САМАРА2 007

УДК 629.7.002:620.165.29

ББК 34.5

К 218



Инновационная образовательная программа "Развитие центра компетенции и подготовка специалистов мирового уровня в области аэрокосмических и геоинформационных технологий"

Рецензенты: д-р тех. Наук, проф. Н.Д. Проничев, гл. техн. ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» Е.П. Семенов.

*Барвинок В.А.*

**Монтажно-испытательные процессы в производстве летательных аппаратов. Ч. I. Методы и средства монтажа и испытаний баков-емкостей в производстве летательных аппаратов:** учеб. пособие / *В.А. Барвинок, Ю.В. Федотов, Н.П. Родин.* - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. - 80 с.: ил.

ISBN 978-5-7883-0614-8

В пособии 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.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Введение

1. Классификация баков-емкостей, требования к их изготовлению, материалы баков
  2. Типовые схемы сборки и монтажа емкостей низкого и высокого давления
  3. Система испытаний баков-емкостей летательных аппаратов
  4. Методы испытания емкостей на прочность
  5. Тарировка емкостей
  6. Методы обеспечения чистоты внутренней поверхности баков-емкостей и их элементов
    - 6.1. Способы обезжиривания и удаления механических частиц из внутренних полостей баков-емкостей и их элементов
    - 6.2. Способы контроля чистоты внутренних поверхностей
    - 6.3. Сушка баков-емкостей и трубопроводных систем **Ошибка! Закладка не определена.**
  7. Методы испытания баков-емкостей на герметичность
    - 7.1. Основные положения и понятия
    - 7.2. Сущность методов и способов, применяющихся при испытаниях баков-емкостей
  8. Изготовление емкостей высокого давления
  9. Техника безопасности при пневмоиспытаниях баков емкостей
- Библиографический список

## ВВЕДЕНИЕ

Производство летательных аппаратов (ЛА) – специфическая область машиностроения, занимающаяся производством изделий, воплощающих в себе высокую прочность при минимальной массе, сложность внешних обводов и форм при высокой точности их воспроизведения. При этом летательный аппарат должен обладать надежностью, безотказностью и достаточной долговечностью.

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. 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 компонуются в пакеты и блоки торовых баков; эллиптическими, сваренными из двух эллиптических днищ; в последние годы появились эластичные сильфонные баки ([рис.1.1](#)). 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 (например, 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 изготовления. 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 (штампуемостью), 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.



## 2. 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 обечаек, 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 (лепестков), 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: обечаек, днищ, стыковочных 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.2.1](#) 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.2.2](#) 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 исключают 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

торцовки 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 (тоннельных 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  $3...4 \cdot 10^4$  КПа и выше). Эту группу емкостей отличает большая толщина стенок (10...15мм), 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 и алюминиевые сплавы. Технологические особенности изготовления емкостей высокого давления приведены в разделе 8.

### **3. 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 проводятся 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 невырабатываемого 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 требования 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, виброиспытания 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.

#### 4. 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 поверхности 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.4.1](#) в качестве примера приведена схема одного из вариантов выполнения гидростенда, а на [рис.4.2](#) 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 испытываемая 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  $P_{пред} = (0,1...0,2) \cdot P_{раб}$ , 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  $P_{исп}$  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.

*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 заглушёнными 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. Годность бака определяется после испытаний на прочность и герметичность.

*Ударные испытания емкости* (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.



## 5. 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 емкостей 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:

$$\text{для «сухого» способа} \quad V_i = \frac{P_i - P_0}{j_{жс}} K_t, \quad (5.1)$$

$$\text{для «мокрого» способа} \quad V_i = \frac{P_{II} - P_0 - P_i}{j_{жс}} K_t, \quad (5.2)$$

где  $P_0$  — вес сухого бака;  
 $P_{II}$  — вес бака с полным объемом жидкости;  
 $P_i$  — вес бака в любой момент тарировки;  
 $j_{жс}$  — 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.

## **6. МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЧИСТОТЫ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ БАКОВ-ЕМКОСТЕЙ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

## **6.1. 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 опьяняющее 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 эмульгирующим и диспергирующим свойствами, способствующими удалению масляных и жировых пятен и загрязнений [7, 8].

## 6.2. 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..40мкм. 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 1000см<sup>3</sup>) 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.6.1](#) 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 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, попадает на фотоэлемент 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.6.1](#)). Подсчет частиц осуществляется электронными счетчиками 7 (в схеме имеется пять счетчиков). Применение такого прибора сокращает время, необходимое для подсчета по сравнению с фотовизуальным способом примерно в 5 раз, позволяет получить более полные и объективные данные о качестве промывки.

### 6.3. 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  $(4...6) \cdot 10^2$  кПа. Одной из наиболее часто применяемых и надежных является термовакуумная сушка [1, 6, 7], производимая в специальной стационарной вакуумной камере, имеющей вакуумную откачку порядка  $(0,2...0,4) \cdot 10^2$  кПа. Температура сушки  $100...110^\circ\text{C}$  создается с помощью кольцевых электронагревателей, расположенных внутри вакуумной камеры. Для более точной фиксации температуры сушки на испытуемую емкость предварительно прикрепляются несколько контрольных термопар. Время сушки 8...12 часов. Преимуществом термовакуумной сушки является удаление влаги даже из микронеплотностей стенок емкости.

## **7. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ БАКОВ-ЕМКОСТЕЙ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ**

## 7.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПОНЯТИЯ

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

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:

$$Q = \frac{V\Delta P}{\Delta t}, \quad (7.1)$$

где Q - натекание или вытекание;

V - изолированный от откачки или натекания объем;

$\Delta P$  - изменение в нем давления за время  $\Delta t$ .

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.7.1](#) [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.

*Газогидравлические методы* предусматривают заполнение объекта испытания контрольным газом, перенос утечки в гидравлический тракт течеискания и регистрацию ее с помощью анализирующей (течеискательной) 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, массо-перенос утечки в гидравлическом, газообразном тракте течеискания и регистрацию ее анализирующим прибором, индикаторным средством либо течеискателем.

*Газоэлектрические методы* предусматривают заполнение объекта испытания контрольным (пробным) газом, перенос утечки в газообразном тракте течеискания и регистрацию ее анализирующей, течеискательной аппаратурой либо специальными индикаторами.

*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.

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

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

### 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.7.2).** Объект испытания помещают в резервуар (аквариум) и обнаруживают течи по появлению воздушных пузырьков в жидкости.

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:



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  $P_{вн} = Qt/V$ , должны преодолеть сопротивление всех сил, противодействующих этому образованию. Суммарное давление на пузырек извне складывается из трех составляющих:

- $P_{ат}$  - атмосферного давления;
- $P_{г} = \rho gh$  - гидравлического давления столба жидкости, где  $\rho$  - плотность жидкости,  $g$  - ускорение силы тяжести,  $h$  - высота столба жидкости;
- $P_{Н} = 4\sigma/D$  - капиллярного давления, обусловленного поверхностным натяжением окружающего пузырек слоя жидкости,

где  $\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения,  $D$  - диаметр пузырька.

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

$$\text{Равенство } P_{вн} = P_{и} + P_{г} + P_{ат} \quad (7.2)$$

приводит к выражению для потока:

$$Q = \frac{\pi D_0^3}{6t_0} \left( \frac{4\sigma}{D_0} + \rho gh + P_{ам} \right), \quad (7.3)$$

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:

$$Q = \frac{\pi D_0^3}{6t_0} P_{ам} \quad (7.4)$$

или в более удобной для практики форме, поскольку  $t_0 = \Delta t/n$ ,

где  $n$  - число пузырьков, образующихся за время наблюдения  $\Delta t$ :

$$Q = \frac{\pi D_0^3 n}{6\Delta t} P_{ам}. \quad (7.5)$$

Чувствительность описанного выше способа при применении открытого (не вакуумированного) резервуара, заполненного водой, находится в пределах  $Q_{\min} = 10^{-1} \dots 10^{-2}$

л·мкм/с:

$$(1,33 \cdot 10^{-5} \dots 1,33 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \text{ Па/с} = 1,33 \cdot 10^{-5} \dots 1,33 \cdot 10^{-6} \text{ мН/с} = \\ = 1,33 \cdot 10^{-5} \dots 1,33 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}).$$

При вакуумировании и применении спирта чувствительность может быть повышена до  $10^{-3}$  л·мкм/с ( $1,33 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \text{ Па/с}$ ).

Этот способ широко применяется при проверке герметичности малогабаритных баков, баллонов, а также трубопроводов и арматуры системы ПГС.

**Мет од 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  $-40^\circ\text{C}$ . Она представляет из себя раствор мыльного корня в дистиллированной воде с добавкой хлористого кальция. На 1л 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 и, во-вторых, повышенным капиллярным давлением  $P_n$ . Это давление для пузырей в газовой среде, окруженных двухсторонней пленкой:

$$P_n = \frac{8\sigma}{D}$$

Тогда уравнение течи можно записать в следующем виде:

$$Q = \frac{V(P_{am} + P_n)}{t_0} = \frac{\pi D_0^3}{6t_0} \left( P_{am} + \frac{8\sigma}{D_0} \right) \quad (7.6)$$

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

$$Q = \frac{\pi D_0^3}{6t_0} P_{am} \quad (7.7)$$

Проводя испытания путем обмыливания поверхности, следует помнить, что устойчивость мыльных пузырей обеспечивается увеличением вязкости Жидкости, а не её поверхностного натяжения. Вязкая жидкость медленно стекает под действием своего веса и утонение пленки происходит не так быстро. 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 ( $1,33 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \text{ Па/с}$ ); б) трудность контроля малодоступных для обзора мест; в) загрязнение мест обмыливания, что требует дополнительной операции по очистке изделий.

### 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 ( $6,65 \cdot 10^{-7}$  м<sup>3</sup>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.7.1](#).

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  $P_{предв} = (10...50)\%$ ;
- нанесение дисперсной массы с помощью пистолета-распылителя на проверяемую поверхность или соединение. Норма расхода массы 50...100 мл/1 м<sup>2</sup>,
- создание испытательного давления  $P_{исп} = 1,1 P_{раб}$ , выдержка  $t = 15$  мин;
- сброс давления до  $P_{предв}$  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.

### Манометрические методы и способы испытаний 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.

Задавшись допустимой величиной вытекания газа  $Q$  и зная объем  $V$  испытываемого отсека, можно определить допустимое время падения давления:

$$\Delta t = \frac{V \cdot \Delta P}{Q} \quad (7.8)$$

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.7.3](#).

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 испытываемого бака давление. Открытием пускового крана 5 и перекрывного 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

сравнивается с наружным 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 течеискателей.

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 порядка  $10^{-1}$  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:

$$Q = \frac{(P_2 - P_1)V}{\tau} \cdot 0,95, \quad (7.9)$$

где  $Q$  - величина натекания газа из атмосферы, (Па·м<sup>3</sup>/с);

$P_1$  - давление в начале замера, Па;

$P_2$  - давление в конце замера, Па;

$V$  - объем испытуемого отсека (бака);

$\tau$  - время между замерами (выдержка) с;

0,95 - КПД азотной ловушки.

Как видно из [рис.7.4](#), 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 (7.9) 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 разности величин натекания 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·м<sup>3</sup>/с).

#### **Гидроаналитические методы контроля баков-емкостей на герметичность**

Гидроаналитические методы имеют достаточно высокую чувствительность порядка  $10^{-1} \dots 10^{-4}$  мкм·л/с ( $1,33 \cdot 10^{-5} \dots 1,33 \cdot 10^{-6}$  Па·м<sup>3</sup>/с), при этом в большинстве случаев не требуют сложного технологического оснащения и оборудования, отличаются простотой реализации при незначительной затрате труда.

#### **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·м<sup>3</sup>/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.7.5](#)). На рис. 7.5 приведена зависимость чувствительности этого способа от времени выдержки  $t$  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·м<sup>3</sup>/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 ( $1,33 \cdot 10^{-6} \dots 1,33 \cdot 10^{-7}$  Па·м<sup>3</sup>/с).

### **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 хромозффекта (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.

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

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·м<sup>3</sup>/с). Количественная оценка негерметичности проводится по видимому эффекту изменения цветности индикаторного порошка, находящегося в трубке определенной длины, в зависимости от потока газов рабочей жидкости.

*Способ хромозффекта* нашел широкое применение в последнее время. Сущность способа состоит в следующем: во время гидроиспытаний полости объекта заполняются технологической жидкостью, представляющей собой водный раствор хромпика с технологическими добавками. Технологические добавки обеспечивают максимальную проникающую способность жидкости. На поверхность объекта испытания наносится 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·м<sup>3</sup>/с). Применение

гидравлического метода контроля герметичности позволяет сократить общую продолжительность и трудоемкость испытаний, исключить применение сложного пневматического оборудования и резко повысить безопасность испытаний.

### **Материалы, применяемые для контроля герметичности**

#### **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 /6/.

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 и 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 охрана труда**

1. При проведении гидравлических испытаний необходимо руководствоваться ОСТ 92-0158-90.

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 пульт 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 к обработке 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:

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 время 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 осуществить при давлении в объекте  $0,5P_{\text{макс}}$  пистолетом-распылителем (или кистью) до полного покрытия, контроль визуальный. Расход масс на  $1 \text{ м}^2$  контролируемой поверхности равен: массы М-1 - 0,1 - 0,2 кг; массы М-2 - 1 - 1,5кг.
6. Выдержать объект испытания при давлении  $P_{\text{осм}}$  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  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Ложные пятна под действием  $\text{H}_3\text{PO}_4$  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 полноте удаления 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  $pH = 3 - 4$ . 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.

#### **Люминесцентный способ испытания баков на герметичность**

В основе метода лежит способность жидкостей, смачивающих стенки капиллярного отверстия, подниматься по каналу капилляра ([рис.7.6](#)). Предельная высота, на которую поднимается жидкость в капилляре, зависит от свойств жидкости и размеров канала и определяется по формуле:

$$h = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{dg(\rho_{ж} - \rho_{г})}, \quad (7.10)$$

где  $d$  - диаметр капилляра;

$g$  - ускорение силы тяжести;

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

$\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения жидкости;

$\theta$  - 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.

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

Проверка герметичности длинномерных трубопроводов и крупногабаритных баков-ёмкостей 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.7.7). Принцип его работы заключается в фиксации фокусирующей линзой 4 на поверхности сканирующей 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 поверхность объекта 8 уранин облучает ультрафиолетовым светом от источника 1, проходящим через коллиматор 2, оптический фильтр в и фокусирующую линзу 4, которая фиксирует на поверхности зеркала 5 светящуюся точку и передает ее на фотоумножитель-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 поперечном

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  $Q_{\min} = 5 \cdot 10^{-3}$  мкм·л/с ( $6,65 \cdot 10^{-7}$  Па·м<sup>3</sup>/с).

#### **Газоэлектрические 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  $Q_{\min} = 10^{-4} \dots 10^{-8}$  мкм·л/с ( $1,33 \cdot 10^{-8} \dots 1,33 \cdot 10^{-12}$  Па·м<sup>3</sup>/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 «е».
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.7.8). 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.

Испытания изделий на герметичность с помощью масспектрометрического течеискателя производится под вакуумом. Течеискатель 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 течеискателя и индуцируются.

Основным элементом масс-спектрометра является его ионно-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 анализаторе. 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.7.9).

В источнике Нира накалимый 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, электроны ионизируют их. Образовавшиеся ионы вытягиваются из камеры, фокусируются в пучок и ускоряются в область ионизатора с помощью системы линз.

Анализ газов, подвергшихся ионизации, производится путем разделения ионов по массам в постоянном магнитном поле. И приборах со  $180^\circ$  фокусировкой ионы, образовавшиеся в источнике с энергией, соответствующей приложенной разности потенциалов  $I$  (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:

$$R = \frac{mV}{eH} \quad (7.11)$$

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:

$$R = \frac{144}{H} \sqrt{MU} \quad (7.12)$$

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 течеискателями в качестве пробного газа обычно выбирается гелий, обладающий следующими достоинствами. Большая чувствительность течеискателя получается вследствие малого содержания гелия в атмосфере (5-10<sup>-4</sup>%) 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.

#### Течеискатель ПТИ-10

Течеискатель ПТИ-10 ([рис.7.10](#)) 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                               | $7 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$ |
| напряжение питающей сети   | 220 В / 380 В ± 22 В / 38 В                      |
| трехфазная промышленная сеть   |  |
| мощность, потребляемая течеискателем при номинальном напряжении сети, не более | 900 ВА   |
| наработка на отказ   | 2500 ч   |
| габаритные размеры   | 1400 х 675 х 620 мм                              |
| масса  | 170 кг   |

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

При отключении сетевого напряжения автоматически перекрывается 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 течеискателю, обдувается пробным газом (гелием); частицы гелия, проникшие через течь и дросселирующий вентиль в вакуумную систему течеискателя, попадают в камеру масс-спектрометра (см. блок-схему прибора на [рис.7.11](#)). Здесь, в ионном источнике камеры, газы,

в том числе и гелии, 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, облачающие начальной энергией, движутся по круговым траекториям, 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  $180^\circ$  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 течеискателя 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 течеискателя осуществляется с помощью манометрического преобразователя ПМТ-4М и вакуумного датчика. Управление вакуумной системой течеискателя при его включении, выключении и работе производится с помощью клапанов.

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

Структурная схема течеискателя состоит из двух основных частей: вакуумной системы и электронной схемы. Электронная схема течеискателя 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-Ю), панели управления (ПУ-10).

Вакуумная система течеискателя (см. [рис.7.11](#)) состоит из масс-спектрометрической камеры с постоянным магнитом, паро-масляного насоса, пластинчато-роторного насоса, семи клапанов, калиброванной гелиевой течи, азотной ловушки, вакуумного датчика и термпарного манометрического преобразователя.

### **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 течеискателей 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.7.12](#). Испытываемое изделие 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 электронагревателем 18 посредством трубопровода и затвора 21 соединен с вакуумной камерой. В систему соединения вакуумного блока с вакуумной камерой включен натекаватель 20. Контроль величины вакуума, создаваемого в камере, осуществляется при помощи манометрического датчика 7 и термпарного 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. Пневмоцилок 9 служит для управления пневмо-цилиндрами крепления и перемещения подставки.

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.7.13](#) 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 в полости присоски, который контролируется вакуумметром 3, подключенным через термпарный датчик 4. После отключения форвакуумного насоса открывается вентиль 13, в результате чего внутренняя полость присоски соединяется с вакуумной системой течеискателя. При наличии в проверенном изделии течи пробное вещество - гелий проникает во внутреннюю полость присоски и далее в камеру масс-спектрометра течеискателя, в котором степень герметичности оценивается по показаниям пульта управления 2. Показания стрелочного прибора течеискателя 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 течеискателей по его количеству оценивается герметичность.

На [рис.7.14](#) изображена схема применения способа обдувания при проверке герметичности бака (отсека) ЛА.

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 ( $1,33 \cdot 10^{-7}$  м<sup>3</sup> 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 ( $1,33 \cdot 10^{-9}$  м<sup>3</sup> 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...1см/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.7.15](#). Через наконечник щупа пробный газ засасывается в вакуумную систему течеискателя и попадает в масс-спектрометрическую камеру. При наличии 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 ( $1,33 \cdot 10^{-9}$  м<sup>3</sup> 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.7.16](#)). Вокруг проверяемого объекта создается замкнутый герметический объем накопления, изолированный от откачки. Проверяемый 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 щупа-натекавателя с иглой Льюера с шагом 50...350 мм, соединенного шлангом с течеискателем ПТИ-10, регистрируется наличием пробного газа гелия.

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

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.7.17](#) показаны примеры объемов накопления при испытании на герметичность шар-баллонов (а) и сварных стыков трубопроводов (б), днищ, (в) и межбакового пространства (г).

### **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.

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 воздухе (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.7.17](#). Испытываемое изделие устанавливается в технологическое приспособление, обеспечивающее поворот изделия и его закрепление. Аммиак подается к испытываемому изделию от аммиачно-баллоновой батареи через пульт управления. Сжатый воздух поступает в изделие от сети через пневмопульт. 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 писто-



летов, 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 испытуемых изделий, а также для гидроиспытания имеется гидросистема водного раствора хромпика.

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.

У крупненный технологический процесс испытания на герметичность

Он состоит из следующих операций:

1. Провентилировать помещение.
2. Приготовить индикаторную массу из расчета  $1,5-2 \text{ кг/м}^2$ .
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 пульту подачи контрольной смеси.
8. Дать давление газовой смеси ( $P_{\text{исп}} = 1,1 P_{\text{раб}}$ ).
9. Выдержать изделие в течение 15-20 минут.
10. Снизить давление до  $P_{\text{min}} = 0,1-0,3 \text{ ат}$  ( $0,01 \dots 0,03 \text{ МПа}$ ).
11. Осмотреть изделие.
12. Определить величину утечки контрольного газа через единую течь.
13. Стравить 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  $t = 50-60^\circ\text{C}$ .

Режимы нанесения индикаторной массы

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

Величина течи определяется по графику [рис.7.18](#), на котором показана зависимость между утечкой контрольного газа и величиной пятна на индикаторной массе. Чувствительность метода  $-5,8 \cdot 10^{-3} \text{ л} \cdot \text{мкм/с}$  ( $7,7 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \text{ Па/с}$ ).

## 8. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЕМКостей ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Одним из наиболее специфических производств является изготовление и испытание топливных баков сферической формы, рассчитанных на эксплуатацию при высоком давлении. Топливные баки высокого давления современных летательных аппаратов имеют специальные системы вытеснения на основе мягких вытеснителей (диафрагм), которые изготавливаются либо из мягких неметаллических материалов, либо из пластичных алюминиевых сплавов марки АД1М или АМцАМ. На [рис.8.1](#) представлен один из вариантов конструкций сферического топливного бака с металлической диафрагмой.

Бак состоит из двух полусфер 5 и 8 и гибкой диафрагмы 2, выполненных штамповкой - вытяжкой из листового материала. Гибкая диафрагма в реальных условиях эксплуатации "выворачивается" в положения II - II, III - III, IV - IV, V - V при подаче давления в полость Б.

Направленное перемещение диафрагмы обеспечивается благодаря ее переменной толщине, которая достигается раскаткой после штамповки на токарно-давилном станке. В полусферы вворачиваются заправочные штуцеры 1, выполненные точением или фрезерованием из штамповок или поковок. Полусферы бака и диафрагма соединяются между собой сваркой через проставку 3 (или шпангоут). К баку приварены кронштейны 7, через которые бак соединяется с другими агрегатами изделий.

Основные этапы изготовления сферических топливных баков отражены схемой сборки, представленной на [рис.8.2](#). Пояснение выполняемых работ при сборке - испытаниях сферических баков приводятся ниже. Следует отметить, что одной из главных особенностей изготовления емкостей высокого давления является запуск их в производство партиями. Это означает, что детали, входящие в конструкцию бака, изготавливаются на этапе заготовительно-штамповочного производства из заготовок одной партии плавки и подтверждение пригодности на всю партию баков дается на конечном этапе типовых испытаний, отобранных 10 % баков. По результатам испытаний типовых баков на разрушение при максимальном для каждого из них давлении и после лабораторных исследований характера и причин разрушения дается заключение на всю партию баков. Необходимо также отметить, что в связи с особенностью эксплуатации баков процесс их изготовления отличается высокими требованиями на сборку - сварку отдельных элементов конструкции бака, а именно: категория сварки первая. По данной категории предусматривается рентгеноконтроль сварных швов, ограничение количества допустимых дефектов (окисных пленок, пор, включений, микронепроваров); недопущение трещин и макронепроваров и избыточного количества дефектов из категории допустимых на определенной длине шва. По первой категории сварки допускается исправление дефектов разделкой данного листа сварного шва с последующей подваркой и повторным рентгеноконтролем.

На первом этапе изготовления баков полусферы свариваются со штуцерами и со шпангоутом (одна из полусфер). После рентгеноконтроля сварных швов и исправления дефектов, если таковые обнаружены, производится сварка одноименных полусфер с целью предварительного испытания сварных швов и шпангоутов на прочность и герметичность в целях выявления дефектов до сборки бака. Испытания на прочность выполняются с применением технологической жидкости (раствора хромпика в дисциплированной воде) по методике, изложенной в разделе 5. Испытания проводятся в специальных бронированных камерах. Причем в момент создания давления опрессовки входение в бронекамеру запрещается и лишь после сброса давления до уровня осмотрового исполнитель входит в бронекамеру для проверки сварных швов на отсутствие микротечей. В случае положительных результатов испытаний производится слив технологической жидкости и

сушка емкости из сваренных одноименных полусфер. В случае обнаружения дефектов по сварным швам штуцеров и шпангоута после сушки выполняется разделка зоны дефектного места сварного шва и его подварка с последующим рентгеноконтролем. После чего гидроиспытания на прочность и герметичность повторяются.

Затем проводятся пневмоиспытания подборок (емкостей из одноименных днищ) для проверки герметичности сварных швов штуцеров и шпангоута гелиевовоздушной смесью. В испытаниях применяются метод обмыливания и метод “щупа” (с применением гелиевого течеискателя модели ПТИ - 7). Методики проведения данных испытаний проведены в разделе 7. Испытания на герметичность также проводятся в бронекамере в том же порядке, как и гидроиспытания: опрессовка, сброс давления до осмотрового, проверка герметичности.

В случае обнаружения негерметичности по сварным швам штуцеров и шпангоута производят устранение дефектов в помеченной зоне сварного шва по выше изложенной методике. После чего весь цикл гидро- и пневмоиспытаний повторяется.

В случае положительных испытаний на герметичность (гелиевовоздушной смесью) производят разрезку емкости из одноименных полусфер по технологическому сварному шву и механическую торцовку полусфер в окончательный размер под сварку бака. Полусфере со шпангоутом обрабатывают под сварку с диафрагмой.

Герметичность сварного шва диафрагмы со шпангоутом проверяют гелиевовоздушной смесью при небольшом избыточном давлении, не вызывающим ее деформацию и выпучивание.

После испытаний на герметичность сварного шва диафрагмы (при положительных результатах) производят сварку бака и рентгеноконтроль сварного шва. При отсутствии дефектов в сварном шве проводят завершающий этап комплекса испытаний, которые включают следующие виды работ.

В начале проводятся гидроиспытания бака на прочность и герметичность по аналогии с испытаниями одноименных полусфер. После гидроиспытаний проводят промывку внутренней полости бака от остатков раствора ингибитора чистой дисцилированной водой. Затем производят обезвоживание внутренней полости бака от капелек воды. Для обезвоживания используют чистый спирт. Процесс обезвоживания совмещают с контролем чистоты внутренней полости бака.

Суть контроля чистоты внутренней полости бака заключается в следующем. Бак заливают на четверть объема гидролизным спиртом, закрывают герметично штуцера заглушками и производят вращение бака в трех плоскостях с применением специальной центрифуги. Вращение бака производят в течение 20 минут. После чего спирт сливают в технологическую емкость через воронку, на дно которой укладывается чистая белая хлопчатобумажная салфетка. Если на поверхности салфетки при визуальном осмотре обнаружены металлические включения (пыль или металлические опилки и т.п.), промывку бака спиртом повторяют. Данную операцию проводят несколько раз до исчезновения макрочастиц металлических включений.

После контроля чистоты внутренней полости производят вакуумную сушку бака в специальной барокамере. Для чего несколько баков с открытыми штуцерами устанавливаются на подставках в барокамеру. Полость барокамеры закрывается и создается разрежение до уровня  $10^{-1} \dots 10^{-2}$  мм. рт. столба. Внутренняя полость барокамеры нагревается до температуры  $80^{\circ} \dots 120^{\circ} \text{C}$  и производится сушка баков в течение 16 часов. Цель вакуумной сушки - удаление летучих компонентов спирта из внутренней полости баков после обезвоживания и контроля чистоты.

По завершению вакуумной сушки проводятся испытания баков на герметичность гелиевовоздушной смесью по вышеизложенной методике. Затем проводят на суммарную

герметичность. Испытания проводятся в барокамере в следующей последовательности. Бак устанавливается в барокамеру, к штуцерам подсоединяются трубопроводы магистрали подачи гелиевовоздушной смеси, которые выведены за пределы барокамеры. Барокамера закрывается, и в ней создается глубокий вакуум до уровня значений  $10^{-6} \dots 10^{-7}$  мм. рт. ст. Затем в испытуемый бак подается гелиевовоздушная смесь до некоторого избыточного давления с выдержкой при постоянном значении в течение 20 минут. После чего производится замер суммарного натекания в барокамеру гелия по микропорам сварных швов. Замер суммарной негерметичности выполняют с помощью прибора ПТИ-7 (или ПТИ-10), подключенного на постоянной основе к внутренней полости барокамеры. Значение суммарной негерметичности заносится в технологический паспорт каждого бака изготавливаемой партии. В случае превышения суммарной негерметичности допустимого по техническим условиям (ТУ) значения проводится поиск течи методом “щупа” (см. раздел 7). При обнаружении места течи производится рентгеноконтроль данной зоны сварного шва, устанавливается причина (раскрытие окисных пленок, пор и т.п.). Если причиной утечки являются допустимые дефекты сварки, то производят устранение дефекта путем разделки данной зоны с последующей подваркой. После этого повторяется весь комплекс испытаний штатного бака, включая испытания на суммарную герметичность. Если же место утечки не обнаруживается, бак бракуется и используется в конструкторско-технологических целях (в макетных изделиях, в испытаниях новых технологий и т.п.).

Из оставшейся партии годных баков производят отбор 10%, но не менее двух на проведение типовых испытаний, в программе которых имитируются условия, приближенные к условиям эксплуатации изделий.

На [рис.8.3](#) представлена схема этапов технологии типовых испытаний.

По программе типовых испытаний вначале проводятся испытания вращением в трех плоскостях на центрифуге. При этом бак перед испытаниями заполняется до полного объема дисциплированной водой. Заполненный бак вращается при различных ускорениях в течение 20 часов.

После испытания на центрифуге производят слив жидкости, обезвоживание внутренней полости бака спиртом и вакуумную сушку бака. Затем проводят испытания на герметичность гелиевовоздушной смесью методом “щупа” с применением гелиевых течеискателей модели ПТИ-7 (или ПТИ-10). В случае обнаружения негерметичности значительно превышающей допустимый уровень по ТУ, принимается решение (отделом главного конструктора) о выполнении подварки места утечки.

Если негерметичность в том или ином месте сварного шва бака незначительно отличается от допустимой, то продолжают дальнейшие испытания бака на нагружение вибрационными нагрузками. Испытания проводят на специальном вибрационном стенде, при этом бак также, как и в предыдущем случае заполняется до полного объема дисциплированной водой. Испытания проводят с определенной частотой вибраций стенда также в течение 20 часов.

По завершению виброиспытаний повторяются операции предыдущего этапа (обезвоживание внутренней полости, вакуумная сушка, испытания на герметичность). Аналогично принимаются решения в случае обнаружения негерметичности. После чего выполняется третий этап - ударные испытания.

Ударные испытания осуществляются на специальном ударном стенде, при этом бак также заполняется до полного объема дисциплированной водой. Ударные испытания проводят в течение 20 часов при частоте ударов подвижной плиты стенда, на которой закрепляется бак, от 2 до 4 ударов в минуту с ускорением до нескольких  $g$  (ускорение свободного падения). После ударных испытаний также проводится обезвоживание, вакуумная сушка и контроль

герметичности бака, но уже на оценку суммарной негерметичности в барокамере. Последняя процедура дает как бы итоговую оценку сохранения герметичности бака (баков) в условиях, приближенных к эксплуатационным.

Завершающим этапом типовых испытаний является проверка срабатываемости диафрагмы при вытекании жидкости из внутренней полости бака. Основной целью данного этапа типовых испытаний является установление соответствия между необходимым избыточным давлением для выворачивания диафрагмы и объемом вытесненной из бака жидкости. Второе, что дает данный этап типовых испытаний, это определение фактического увеличения избыточного давления сжатого воздуха в процессе выворачивания диафрагмы по причине увеличения ее жесткости. Третьей задачей данных испытаний является определение остаточного объема жидкости в баке, т.к. имеет место неплотное прилегание вывернутой диафрагмы к внутренней поверхности верхней полусферы бака, а также возможно неплотное выпучивание вершинки вывернутой диафрагмы в силу ее высокой жесткости и недостаточного (ограниченного техническими условиями эксплуатации) уровня избыточного давления для завершения ее формоизменения (вершинки вывернутой диафрагмы).

Примечание. Разумеется, вывернуть вершинку диафрагмы возможно путем наращивания избыточного давления сжатого воздуха, но это может быть такой уровень давления, который приведет к разрушению бака в целом изделии.

Оценку величины остаточного объема проводят обычным сливом из бака оставшейся жидкости в мерную емкость. После чего производят вакуумную сушку бака и проверку герметичности и целостности вывернутой диафрагмы. Для этого полость нижней полусферы с вывернутой диафрагмой заполняют гелиевовоздушной смесью, а к штуцеру верхней полусферы подсоединяют вакуумный шланг гелиевого течеискателя ПТИ-7 (ПТИ-10). Фактическое значение герметичности (или негерметичности) заносят в технологический паспорт бака.

После выполнения типовых испытаний над отобранной партией баков проводят заключительный этап - испытание баков на разрушение. Целью данных испытаний является установление фактического запаса прочности баков данной конструкции. По статусу испытания сосудов высокого давления на разрушение проводят в присутствии представителя службы "Котлнадзор" Министерства обороны Российской Федерации. В качестве рабочей жидкости при испытаниях используют дисциплированную воду. В целях безопасности создание повышенного давления в испытуемом баке производится через технологическую емкость, прочность которой в несколько раз превышает прочность испытуемого бака. Испытания проводят в бронекабине, в которой проводились все штатные испытания на прочность и герметичность изготовленной партии баков.

Суть испытаний баков на разрушение заключается в следующем. Испытуемый бак устанавливается в бронекабине на подвижную подставку нижней полусферой; в верхнем положении через ее штуцер заполняют объем бака с вывернутой диафрагмой до выливания из штуцера. Затем соединяют данный штуцер бронированным шлангом (высокого давления) с технологической емкостью, вынесенной за пределы бронекабины. Предварительно проводят тарировку самописца на различные уровни давления в баке, сравнивая показания с манометрами гидростенда. После этого давление в технологической емкости повышается с помощью шестеренчатого насоса гидростенда, а затем сжатым воздухом через технологическую емкость и при достижении разрушающего бак значения, давление фиксируется самописцем по стрелке манометра магистрали гидростенда и визуально по разрушению бака наблюдательной комиссией через бронестекло бронекамеры. Значения разрушающего давления записывается в технологический паспорт каждого бака.

После разрушения от бака отсоединяются шланги, остатки жидкости сливаются, баки

сушат обычным передвижным феном теплым воздухом. Затем переходят к анализу причин и места разрушения. Как правило, это места подварок и наличие окисных пленок в сварном шве бака. Если результаты типовых испытаний положительны, т.е. основные параметры (коэффициент запаса прочности, невырабатываемый остаток, герметичность и т.п.) по уровню значений соответствуют требованиям ТУ для данной категории баков, то все оставшиеся баки изготовленной партии признаются на штатную сборку изделия.

Если хотя бы один из баков, отобранных на типовые испытания, не подтвердит допустимый уровень значений выше названных или основных конструктивно-технологических параметров, то производится повторный отбор из оставшихся в данной партии баков, но уже в удвоенном количестве на типовые испытания. И лишь положительные результаты повторных типовых испытаний дают право на заключение пригодности оставшейся части баков данной партии их изготовления. В случае отрицательных результатов вся партия баков бракуется и им находят какое-то технологическое применение.

## 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 испытуемых 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  $V_{л}$  ( $V_{м^3}$ ) 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, бронекабины, бронекамеры 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 испытания под руководством ответственного за испытание, назначенного из числа инженерно-технического состава. Проводить испытания 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. Барвинок, В.А. Сборочные, монтажные и испытательные процессы в производстве летательных аппаратов: учебник для высших технических учебных заведений / В.А. Барвинок [и др.]. – М.: Машиностроение, 1996.- 576 с.
2. Беляков, И.Т. Технология сборки и испытаний космических аппаратов: учебник для высших технических учебных заведений / И.Т. Беляков [и др.]. – М.: Машиностроение, 1990.- 352 с.
3. Камалов, В.С. Производство космических аппаратов / В.С. Камалов. — М.: Машиностроение, 1982. — 280 с.
4. Колотилов, Н.Н. Техника безопасности при эксплуатации установок и устройств, работающих под давлением / Н.Н. Колотилов. — М.: МАИ, 1974.—60 с.
5. Ланис, В.А. Техника вакуумных испытаний / В.А. Ланис, Л.Е. Левина.— М. — Л.: Госэнергоиздат, 1963.
6. Александров, В.А. Ракеты-носители / В.А. Александров [и др.]. // под общей ред. С.О. Осипова — М.: Воениздат, 1981. — 315 с.
7. Сапожников, В.М. Монтаж и испытание гидравлических и пневматических систем на летательных аппаратах / В.М. Сапожников. — М.: Машиностроение, 1979. — 256 с.
6. Тарасевич, Р.М. Методы и средства проверки герметичности углов, отсеков и систем летательных аппаратов / Р.М. Тарасевич. — М.: МАИ, 1974. — 128 с.
7. Чернышев, А.В. Технология монтажа, обработки, испытаний и контроля болтовых систем летательных аппаратов: учебн. пособие / А.В. Чернышев. — М.: Машиностроение, 1977. — 336 с.
8. Чернышев, А.В. Проектирование стендов для испытания и контроля бортовых систем летательных аппаратов / А.В. Чернышев. — М.: Машиностроение, 1983. — 384 с.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

**В.А. БАРВИНОК, Ю.В. ФЕДОТОВ, Н.П. РОДИН**

**ЧАСТЬ II**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СБОРКИ,  
МОНТАЖА И ИСПЫТАНИЙ  
РУЛЕВЫХ АГРЕГАТОВ**

САМАРА 2007

УДК 629.7.002:620.165.29

ББК 34.5

К 218



Инновационная образовательная программа "Развитие центра компетенции и подготовка специалистов мирового уровня в области аэрокосмических и геоинформационных технологий"

Рецензенты: д-р тех. Наук, проф. Н.Д. Проничев, гл. техн. ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» Е.П. Семененко.

***Барвинок В.А.***

**Монтажно-испытательные процессы в производстве летательных аппаратов. Ч. II. Технологические процессы сборки, монтажа и испытаний рулевых агрегатов: учеб. пособие / В.А. Барвинок, Ю.В. Федотов, Н.П. Родин. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. - 64с.: ил.**

**ISBN 978-5-7883-0616-2**

В пособии рассмотрены технологические особенности изготовления рулевых машинок системы управления летательным аппаратом. Большое внимание уделено специальным видам испытаний, обеспечивающим надежную работу рулевых машинок в сложных условиях эксплуатации Л.А.

Пособие предназначено для студентов дневного и вечернего обучения факультета летательных аппаратов, слушателей ФПК ИТР и может быть полезно для инженерно-технических работников аэрокосмической отрасли.

## ВВЕДЕНИЕ

Эффективность эксплуатации любого летательного аппарата в значительной мере определяется содержанием и качеством технологических процессов их сборки, монтажа и испытаний. Процессы монтажа и испытаний отдельных систем л.а. требуют проведения весьма сложных работ, включая отработку и доводку с учетом специфических условий эксплуатации, тепловых, механических и других нагрузок. Все это в полной мере относится к рулевым агрегатам системы управления летательных аппаратов. Одним из наиболее ответственных элементов данной системы являются рулевые машинки (РМ). Рулевые машинки являются исполнительными органами системы управления летательных аппаратов, преобразующими электрические сигналы во вращательное движение рулей. Поворот рулей осуществляется в нужную сторону и на определенную величину в зависимости от полученного сигнала с потенциометра гироскопа. Поэтому обеспечение высокой степени надежности и точности исполнительных команд системы управления летательным аппаратом во многом зависит от качества и надежности изготовления рулевых машинок.

В настоящем пособии подробно излагаются особенности конструкции рулевой машинки, специфический подход к изготовлению отдельных ее элементов, приводятся основные этапы технологии сборки и монтажа РМ, дается подробная методика выполнения основных видов испытаний и описание применяемого специализированного оборудования. При этом акцент делается на необходимость проведения специальных видов испытаний, обеспечивающих высокое качество и надежность работы РМ при любых условиях эксплуатации летательных аппаратов.

Материал, излагаемый в учебном пособии, является дополнением к лекционному курсу “Технологии монтажно-испытательных процессов в производстве летательных аппаратов”, а также может быть использован в курсовом и дипломном проектировании.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. Процессы сборки рулевых агрегатов
    - 1.1. Назначение рулевых машинок. Принцип работы
    - 1.2. Принцип работы и конструкция электрогидравлической рулевой машинки
    - 1.3. Схема сборки и испытания
    - 1.4. Сборка и испытания корпуса
    - 1.5. Сборка силового механизма
    - 1.6. Сборка и испытания шестеренчатого насоса (ш.н.)
    - 1.7. Сборка и регулировка узла управления
    - 1.8. Общая сборка и регулировка рулевой машинки
  2. Испытания рулевых машинок
    - 2.1. Приработочные испытания
    - 2.2. Контрольные испытания
    - 2.3. Типовые испытания
- Библиографический список

## **1. ПРОЦЕССЫ СБОРКИ РУЛЕВЫХ АГРЕГАТОВ**

## 1.1. НАЗНАЧЕНИЕ РУЛЕВЫХ МАШИНОК. ПРИНЦИП РАБОТЫ

Исполнительными элементами системы управления летательных аппаратов являются силовые приводы органов управления (как аэродинамических, так и газодинамических). Принципиальная блок-схема силового привода показана на рис. 1.1.

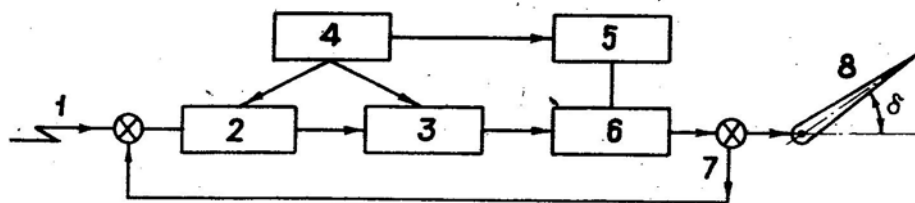


Рис. 1.1. Типовая блок-схема силового привода

Как видно из блок-схемы, сигнал управления (1), полученный с потенциометра гироскопического прибора летательного аппарата, усиливается блоком (2) и подается на узел управления, который в соответствии с командным током (его величиной и направлением) перемещает силовой механизм (6). Последний в свою очередь перемещает руль (8) на определенный угол ( $\delta$ ), что обеспечивается обратной связью (7).

Привод силового механизма (5) может осуществляться с помощью электродвигателя и насоса или электромеханическим устройством и т.п.

Чаще всего усилитель-преобразователь (2) и приводной двигатель (5) или приводной двигатель (5), узел управления (3) и силовой механизм (6) конструктивно выполняются в виде одного агрегата, называемого рулевой машинкой. Рулевые машинки являются исполнительными органами, преобразующими электрические сигналы во вращательное движение рулей. Поворот рулей осуществляется в нужную сторону и на определенную величину в зависимости от полученного сигнала с потенциометра гироскопического прибора.

Рулевые машинки разнообразны по конструкции, что во многом определяется принципом их действия. По принципу действия различаются следующие виды рулевых механизмов: пневматические, гидравлические, электромагнитные, электромеханические, электрогидравлические.

Пневматические рулевые машинки могут быть двух разновидностей. Для одних источником энергии является сжатый воздух, заключенный в баллоне при давлении  $p = 1000 - 4000$  МПа. Другие пневматические машинки работают на горячем газе, получаемом при сгорании заряда твердого топлива в пороховом аккумуляторе давления. Главное достоинство пневматических приводов - простота устройства и высокая надежность. Однако, из-за сжимаемости воздуха, пневматические рулевые машинки работают менее точно, чем, например, гидравлические.

Гидравлические рулевые машинки на современных летательных аппаратах применяются чаще, чем другие типы. Гидравлические приводы точны, практически безинерционны, быстродейственны и надежны. Весовая отдача гидроприводов уменьшается с ростом их мощности. Правда, по сравнению с другими типами гидравлические приводы сложны, дороги, требуют нескольких видов источников энергии. Но эти недостатки с избытком компенсируются указанными выше достоинствами гидравлических рулевых машинок.

Электромагнитные рулевые машинки просты по устройству, потребляют немного энергии, надежны в работе. Их недостаток - малая мощность. Основные элементы - узлы электромеханического привода - электродвигатель и редуктор. Эти приводы по весу уступают приводам других типов.

Электрогидравлические рулевые машинки создают рабочее давление масла в гидравлическом силовом цилиндре, в котором размещен кривошипно-шатунный

механизм, приводящий в движение рули изделия. Давление создается с помощью насоса, работающего от электродвигателя. Эти рулевые машинки обладают преимуществом гидравлических приводов, надежны и имеют относительно небольшой удельный вес.

Более подробно рассмотрим процессы сборки и испытания электрогидравлических рулевых машинок, наиболее распространенных в конструкциях летательных аппаратов.

## 1.2. ПРИНЦИП РАБОТЫ И КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РУЛЕВОЙ МАШИНКИ

Рассмотрим принцип работы этой рулевой машинки по схеме, представленной на рис. 1.2.

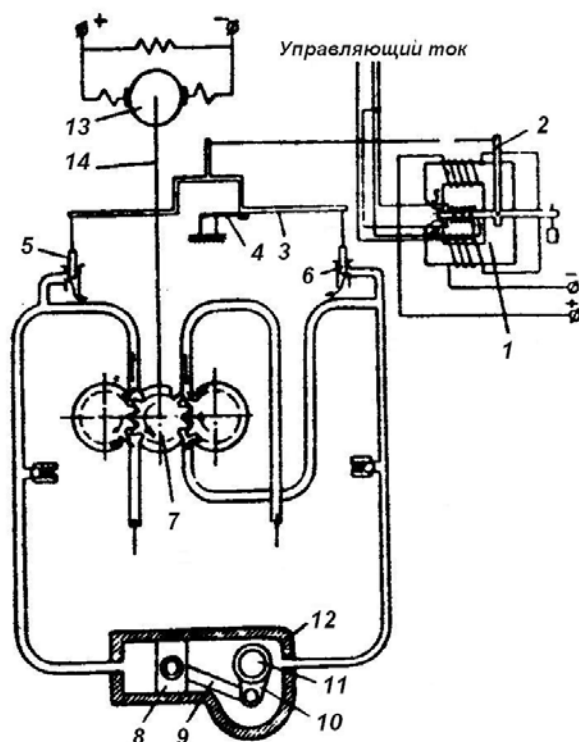


Рис. 1.2. Принципиальная электрогидросхема рулевой машинки

Сигнал, снятый с потенциометра гироскопа, преобразованный и усиленный в промежуточных устройствах автомата стабилизации, поступает на поляризованное реле (1) рулевой машинки. Поляризованное реле в зависимости от знака сигнала поворачивает в ту или другую сторону коромысло (2) и связанный с ним золотниковый распределитель (3), подвешенный на плоской пружине (4), заменяющей механический шарнир.

При повороте распределителя один поршеньков (5) или (6) перекрывает перепускной канал, и масло, подаваемое шестеренчатым насосом (7), поступит в полость рабочего цилиндра, передвигая рабочий поршень (8). Усилие через шатун (9) и кривошип (10) будет передано на вал руля (11).

Прикрепленный к валу руль повернется в нужную сторону. Шестеренчатый насос (7) приводится во вращение мотором (13) через вал (14). Конструкция рулевой машинки показана на рис. 1.3.



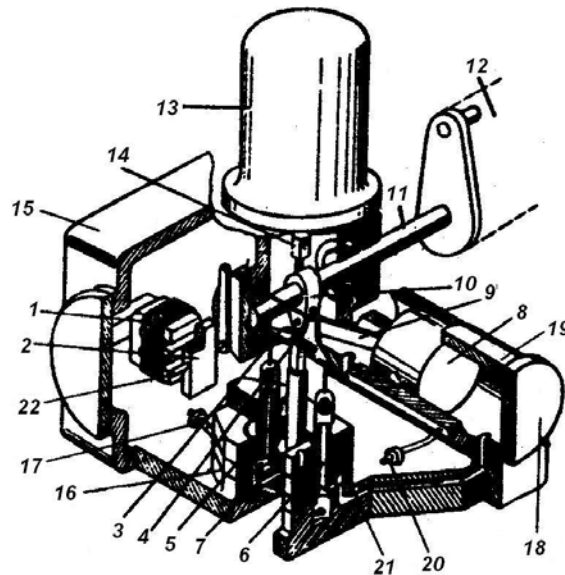


Рис. 1.3. Устройство рулевой машинки

Рабочее тело - масло электрогидравлической рулевой машинки в процессе работы не расходуется. Поэтому целесообразно использовать в качестве резервуара корпус, в котором размещаются узел управления и насос. Корпус рулевой машинки (15) литой, из алюминиевого сплава, в котором на платике (16) устанавливается шестеренчатый насос (7). На шестеренчатом насосе крепятся кронштейн с поляризованным реле (1) и качалкой (2). На корпусе имеется штепсельный разъем (ШР) для подвода тока в реле, а также ШР для подвода тока к электродвигателю (13) шестеренчатого насоса. Электродвигатель вынесен из резервуара. Корпус электродвигателя соединяется с резервуаром (корпусом рулевой машинки) фланцем. В гидравлических магистралях шестеренчатого насоса предусмотрены два предохранительных клапана (17). Силовой цилиндр (19), закрываемый крышкой (18), выполнен заодно с резервуаром (15) и составляет с ним корпус рулевой машинки.

Шестеренчатый насос (7) состоит из корпуса в виде нескольких пластин (трех или пяти), в котором размещаются одна ведущая и две ведомые шестерни. Верхняя часть вала ведущей шестерни выполнена квадратной и соединяется с гнездом вала электродвигателя постоянного тока. Оси ведомых шестерен полые, в них располагаются золотниковые поршни (5; 6). При работе насоса жидкость, попадая во впадины между зубьями, увлекается шестернями на сторону нагнетания в силовой цилиндр. Обратный поток в сторону всасывания невозможен, так как зазор между зубьями и корпусом шестеренчатого насоса весьма мал, а зубья находятся в зацеплении. В каналах, ведущих в силовой цилиндр, установлены золотниковые поршни, связанные с качалкой (2), сидящей на валике якоря поляризованного реле. Расположение поршней внутри вращающихся осей ведомых шестерен позволяет осуществить перемещение поршней с малыми усилиями (т.к. трение покоя отсутствует). В пластине корпуса рулевой машинки выполнены каналы (21), связывающие масляный резервуар с силовым цилиндром. Для уплотнения фланцевого соединения применяются прорезиненные тканевые прокладки.

Внутренняя полость рулевой машинки заполняется маслом РМЦ. С целью обеспечения дренажа из силового цилиндра при перемещении поршня обе стороны силового цилиндра сообщаются с камерой низкого давления с помощью двух воздушных клапанов (20).

### 1.3. СХЕМА СБОРКИ И ИСПЫТАНИЯ

К изготовлению рулевых машинок предъявляются высокие технические требования, обеспечивающие надежную работу их в условиях эксплуатации и длительного хранения. Эти требования распространяются как на изготовление отдельных деталей (в соответствии с чертежом, без заусенцев, острых кромок и т.п.), так и на сборку отдельных узлов и всего приводного механизма в целом. Например, при изготовлении деталей насоса допуск на неплоскостность 0,02/100 мм, камера высокого давления испытывается при давлении 1200 МПа на прочность.

С этой же целью при изготовлении рулевых машинок предъявляются высокие требования к технологической дисциплине (выполнение операций строго в соответствии с технологическим процессом), а также к организации рабочего места и условиям труда. На рабочем месте должен быть только необходимый инструмент, отполированный и замаркированный. В цехе должна поддерживаться идеальная чистота, стабильная температура и влажность. Исполнитель может работать только в специальной чистой одежде, обуви и в головном уборе.

При гидравлических и пневматических испытаниях необходимо строго придерживаться правил безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением, утвержденных РФ.

При разработке схемы сборки и испытания необходимо стремиться к обеспечению минимального цикла.

Порядок сборки и испытания рулевых машинок и отдельных узлов показан на схеме (рис. 1.4). Как видно, сборка отдельных узлов может вестись параллельно, а затем указанные на схеме узлы последовательно устанавливаются в корпус.

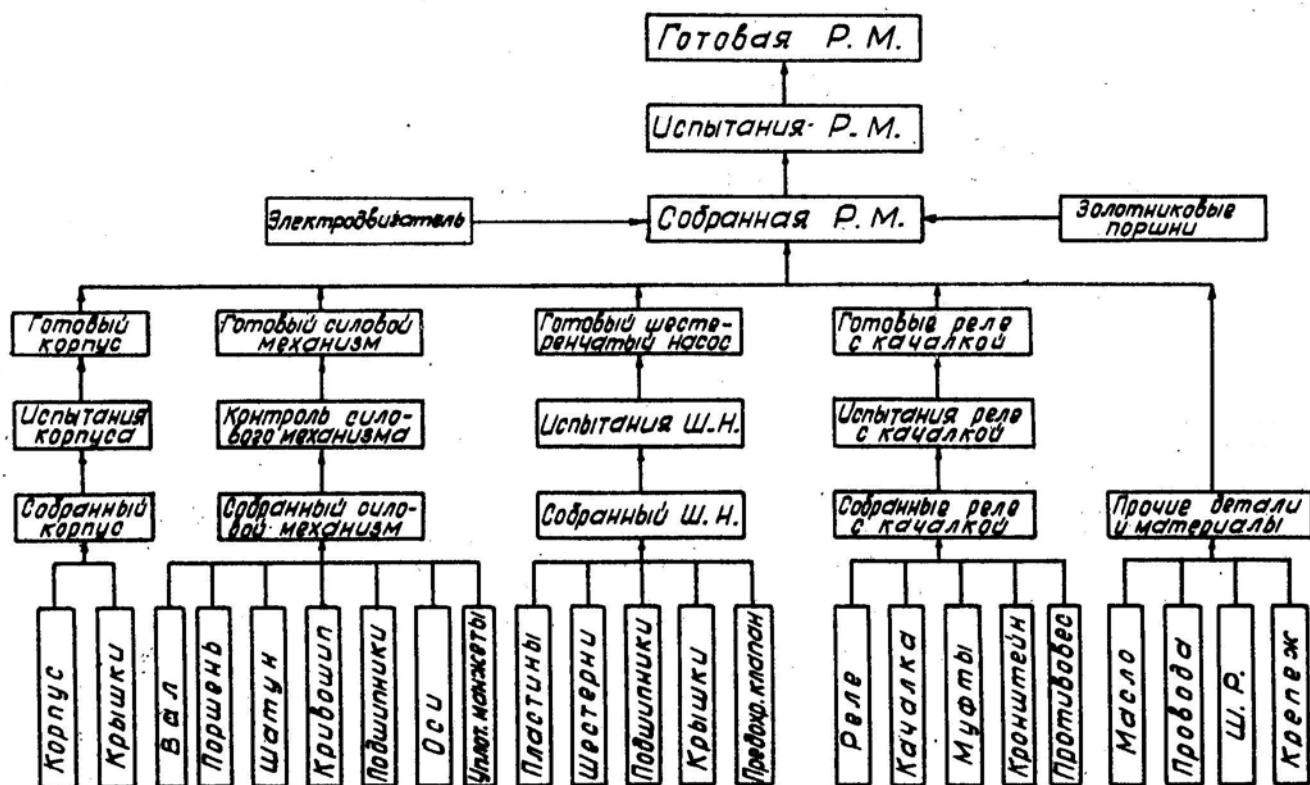


Рис.1.4. Схема сборки и испытания электрогидравлической рулевой машины

## 1.4. СБОРКА И ИСПЫТАНИЯ КОРПУСА

Корпус изготавливается механической обработкой из алюминиевого литья. Прежде чем подать корпус на сборку, он подвергается испытаниям на прочность и герметичность.

Испытанию на прочность подвергается только полость высокого давления, где размещается кривошипный механизм. Эти гидроиспытания проводятся на специальном стенде, показанном на [рис.1.5](#). Конструкция стенда представляет собой собранный каркас (1), на столе которого (2) расположены два платика (3) для установки двух испытуемых изделий (4). Для обеспечения неподвижности изделий при испытании они прижимаются к платику стола с помощью ручных-винтовых (5) и пневматических (6) прижимов. Пневматические прижимы работают от сети сжатого воздуха, а рабочее испытательное давление обеспечивается гидравлической системой пресса с помощью насоса (19) и гидроусилителя (8).

### Техническая характеристика стенда для гидроиспытаний

Рабочее давление жидкости 130 атм.

Потребляемая мощность эл. двигателя 1,7 кВт.

Питание от сети переменного тока напряжением 380 в.

Рабочая жидкость масло-РМЦ.

Прижим колодки пневматический.

Давление воздуха в сети 5 атм.

Количество одновременно испытываемых изделий 2.

Габариты стенда 1200 x 600 x 1200 мм.

Испытание на прочность силового механизма заключается в следующем ([рис.1.6](#)).

Корпус рулевой машинки (2) устанавливается на плате (8) поддерживающего приспособления и прижимается к ней изнутри камеры низкого давления (9) винтовым (4) и пневматическим (5) прижимами через специальный переходник (6). Этот переходник дает возможность подвести испытываемое давление в силовой цилиндр (1) через шланг (3) и канал (7) от гидросистемы стенда.

Порядок испытания проследим по гидросхеме стенда ([рис.1.7](#)). Включается электродвигатель (3) с помпой (4). Затем открывается трехходовой кран (5) в положение (а) для прямого прохода масла в изделие. Масло из бачка (I) через фильтр (2) нагнетается помпой в корпус изделия. Чтобы создать большое давление, кран (5) поворачивается в положение (б), и масло идет в гидроусилитель (8). Последний повышает давление масла, находящегося в гидропроводе и силовом корпусе рулевой машинки, до нужного испытания. Величина испытываемого давления берется в зависимости от рабочего  $P_{\text{исп}} = 1,3 P_{\text{раб}}$ . После этого закрывается вентиль (10) во избежание травления давлением. Затем корпус выдерживают под испытываемым давлением определенное время (5 - 10 минут) и смотрят, есть ли утечки масла по местам крепления крышек и вала кривошипного механизма.

После испытания открывается вентиль (9), масло стравливается в бачок (1), и корпус снимается со стенда.

Испытание корпуса на герметичность производится на специальных стендах ([рис.1.8](#)), конструкция которых аналогична гидравлическому стенду. Для испытания изделий на герметичность методом погружения в жидкость на стенде имеются две передвижные ванны (3) из оргстекла. Подъем и опускание ванны осуществляется вручную подвижным столом (2) по вертикальным направляющим роликов (14) с помощью противовеса (11), подвешенного к столу. Испытываемый корпус рулевой машинки (6)

устанавливается на плате (5) специального поддерживающего приспособления. Плата опирается на основание (4), которое с помощью двух колонок (18) крепится к кронштейну (17) на определенной высоте по отверстиям (7) штырями (9). В этой же кронштейне закрепляется с помощью откидной планки (19) пневмо-винтовой прижим (8), (10), с помощью которого через специальный переходник (12) осуществляется прижим корпуса к плате. Кронштейн (17) крепится болтами (20) к каркасу стенда (1). Сжатый воздух подводится к корпусу рулевой машинки через шланг (13) и переходник (12) по-фланцу крепления электродвигателя. Величина испытательного давления зависит от рабочего давления и определяется как  $RISP = 1.2 P_{раб}$ .

Порядок испытания корпуса на герметичность рассмотрим по пневмосхеме стенда ([рис.1.9](#)). Сжатый воздух из сети через редуктор (1), трехходовой кран (8) и (9) поступает к пневмоцилиндрам, которые окончательно прижимают испытываемый корпус к плате. Затем поднимается ванна с жидкостью (0,3 - 0,5% раствор калиевого хромпика в дистиллированной воде), и корпус полностью погружается в жидкость. Далее открывается вентиль (3), и сжатый воздух проходит через фильтр (4) и второй редуктор (5). По манометру (6) устанавливается необходимое рабочее давление испытания, а открытием вентиля (7) создается давление в корпусе рулевой машинки. Под этим давлением в соответствии с техническими условиями корпус выдерживается определенное время. Негерметичность определяется по наличию пузырьков воздуха в ванне с жидкостью в местах течи. Негерметичность корпуса не допускается.

Отсутствие пузырьков свидетельствует о герметичности корпуса и его пригодности. После окончания испытания ванна опускается, открывается кран (8) или (9) для стравливания сжатого воздуха из корпуса, и последний снимается с платы.

## 1.5. СБОРКА СИЛОВОГО МЕХАНИЗМА

Конструкция силового механизма показана на рис. 1.10. Рассмотрим порядок его сборки.

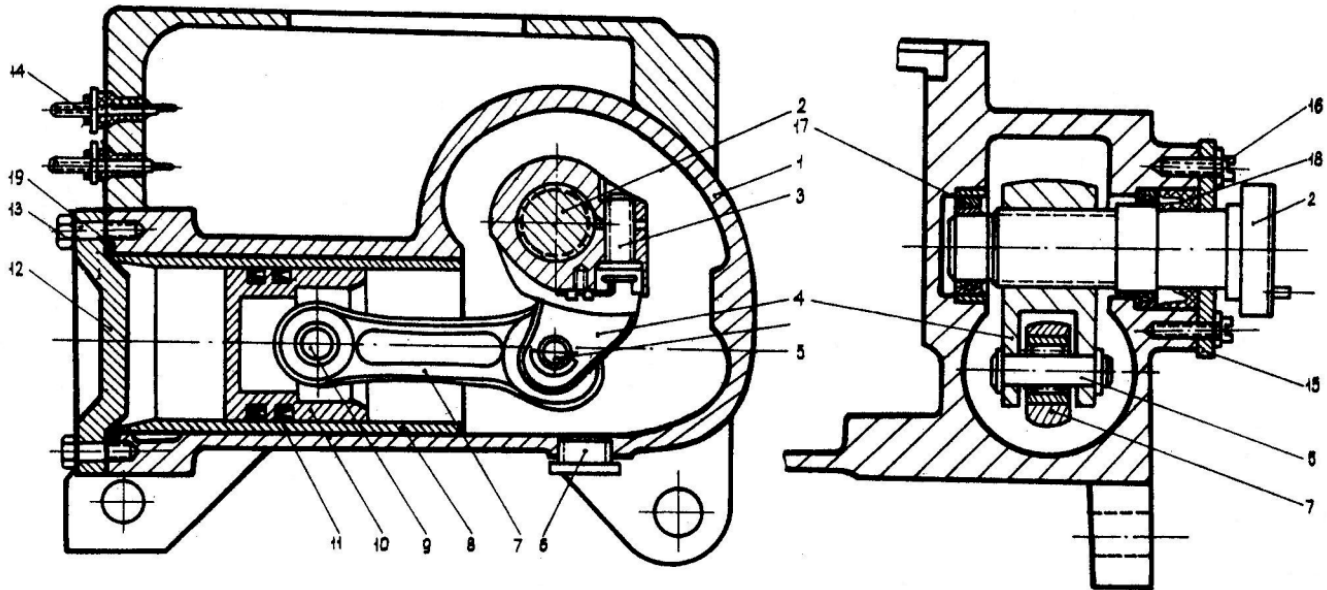


Рис.1.10. Силовой механизм

После испытания корпуса в него монтируется кривошипно-шатунный механизм. Сборка кривошипно-шатунного механизма заключается в правильном подвижном соединении поршня (10) с шатуном (7) посредством пальца (9) и шатуна с кривошипом (4) через ось (5). Затем вся эта группа деталей устанавливается в силовой цилиндр (8), после чего производится постановка вала (2) рулевой машинки. Бал шлицевой поверхностью соединяется с кривошипом и опирается на два подшипника (18). Крепление вала к кривошипу осуществляется с помощью стяжного болта (3) и разрезной втулки. Доступ инструмента к болту обеспечивается через технологическое отверстие, закрываемое пробкой (6). Затем устанавливается и закрепляется винтами (16) разрезная крышка (15), состоящая из двух половин. После этого устанавливается и закрепляется болтами (13) крышка силового корпуса (12). Для обеспечения герметизации корпуса силового механизма применяются уплотнительные кольца (11; 18; 19).

Правильность сборки и установки силового механизма определяется по усилию перемещения (не должно быть сильного трения и заеданий) и по величине угла поворота вала рулевой машинки в двух направлениях. Эта проверка осуществляется с помощью ключа и специального приспособления

(рис.1.11).

Замер осуществляется следующим образом. Корпус рулевой машинки (6), устанавливается на основании (8) приспособления и закрепляется в трех точках двумя штырями (5; 10). Выходной вал рулевой машинки полый и имеет на конце шанцевую нарезку, с помощью которой он соединяется ключом (4). На выходном валу имеется небольшой штифт, а на ключе (4) -ответный паз, которые обеспечивают правильную установку поршня в исходное положение до замера угла поворота. Ключ (4) крепится к полному концу вала с помощью шпильки (12). Ручкой (7) осуществляется поворот вала

рулевой машинки до упора по часовой стрелке и против, тем самым поршень занимает оба крайних положения. По шкале (2) замеряется поворот вала рулевой машинки в градусах.

## 1.6. СБОРКА И ИСПЫТАНИЯ ШЕСТЕРЕНЧАТОГО НАСОСА (Ш.Н.)

Параллельно со сборкой силового механизма ведется сборка шестеренчатого насоса. Так как к изготовлению насоса предъявляются особо высокие требования, рассмотрим технологический процесс сборки и испытания его подробнее ([рис.1.12](#)).

Корпусом насоса является пакет из пяти планок. Внешние планки (1 и 5) стальные, в них крепятся игольчатые подшипники (9) осей шестерен. Средняя планка (3) чугунная: в ней размещаются одна ведущая (6) и две ведомые (7) шестерни с полыми осями. Между внешними и средней планками прокладываются две бронзовые планки (2) и (4). Чугун и бронза выбраны в целях лучшей приработки поверхностей планок, ограничивающих плоскости и периферию шестерен. Сверху и снизу к планкам (1) и (5) крепятся крышки (8) и (11). Пакет планок корпуса скрепляется пятью болтами (12) и фиксируется двумя штифтами (13). На корпусе имеются специальные каналы (19), через которые масло поступает в насос из камеры низкого давления, а также каналы (23), сообщающие нагнетающую сторону насоса с силовым цилиндром.

Для ограничения величины максимального давления масла на насосе устанавливаются два предохранительных клапана (18). Работа насоса заключается в следующем. Масло поступает через канал (19) в гнезда между зубьями шестеренок и вытесняется в нагнетающий канал (23), связанный с силовым механизмом, который осуществляет рабочий ход рулевой машинки в определенном направлении. В этом случае каналы (20) и (21) в ведомых шестернях перекрыты: золотниковый поршень (24) находится в нижнем положении. В случае перепуска масла в камеру низкого давления золотниковый поршень (24) находится в верхнем положении, и масло через каналы (20), (21), полость золотника и отверстие (15) возвращается в камеру низкого давления.

К изготовлению отдельных деталей и сборке шестеренчатого насоса предъявляются очень высокие требования. Так как производительность насоса зависит во многом от величины зазоров между поверхностью корпуса и наружными поверхностями зубчатых колес, а также боковой поверхностью шестерен и торцами внутренних плиток, то необходимо, чтобы этот зазор был не более  $0,03 \div 0,05$  мм. Перекос осей шестерен  $0,01/100$ , допусков расположение осей  $\pm 0,005$  мм, непараллельность плоскостей -  $0,004 \div 0,002$  мм на длине плит.

Эта точность достигается специальным методом изготовления. Весь макет корпуса по отверстиям разделяется совместно по специальным мастер-плиткам. Дальнейшая сборка насоса ведется с помощью эталонного-технологического комплекта шестерен. А необходимый комплект определяется методом подбора шестерен.

Порядок сборки шестеренчатого насоса заключается в следующем. Вначале поступает комплект планок плиток 1; 5 и 3, собирается пакет и предварительно рассверливаются отверстия под штифты (13), растачиваются отверстия под втулки (10), в которые они запрессовываются. Каждая планка маркируется своим номером. Затем подбирают технологические шестерни и устанавливают в отверстия в планке (3). В запрессованные втулки пока вместо игольчатых подшипников вставляют технологические втулочки, собирают пакет полностью из 5-и планок и окончательно растачивают отверстия под штифты (13). Затем разбирают пакет, промывают в спирте, вынимают технологические шестерни, снимают втулочки и маркируют 2 и 4 планки.

Теперь производится окончательная сборка Ш.Н. под обкатку ([рис.1.13](#)).

Приворачивают винтами (16) крышки (8) и (11) к верхней (1) и нижней (5) планкам и устанавливают игольчатые подшипники (9), соответственно в два подпакета из 1, 2, 3, 4 и 5 планок. Затем в 3-ю планку устанавливаются рабочие шестерни (6) и (7) методом подбора.



После чего собирают полностью пакет из 5-и планок, скрепляют пятью болтами (12) (три - сверху, двумя - снизу) и фиксируют двумя штифтами (13) под прессом. Затем добиваются легкости вращения шестерен соответствующей затяжкой 5-и болтов. И, наконец, герметично приворачивают предохранительные клапаны (18). После этого насос окончательно собран, и его отправляют на обкатку.

### **Обкатка шестеренчатого насоса**

Обкатка производится с целью приработки шестерен насоса при различных режимах работы на специальном стенде ([рис.1.14](#)). Он представляет из себя типовую конструкцию в виде каркаса (12), на столе которого (15) располагается пульт управления (14) и электродвигатель для вращения обкатываемых насосов. На стенде обкатываются сразу два насоса. На пульте управления имеются необходимые тумблеры и краны включения электродвигателя и дросселей, а также приборы контроля электрических параметров и давления с каждой стороны (пары) шестеренчатого насоса.

Все эти приборы видны на [рис.1.14](#). Схема обкатки показана на [рис.1.15](#). Испытываемый насос (5) с помощью специального приспособления (3) опускается в ванну с маслом (6) и подключается к масляной системе стенда через шланги (7). Затем через удлинитель (4) к насосу подсоединяется приводной электродвигатель (1). Последний накрывается прозрачным колпаком (2) во избежание разбрызгивания масла и попадания посторонних предметов.

Обкатку насоса на стенде ([рис.1.15](#)) следует производить в следующем порядке:

1. Установить сборку на стенд, заглушив отверстия в осях ведомых шестерен технологическими плунжерами.

2. Установить соединительную муфту и технологический электродвигатель. Погрузить насос в масло.

3. Обкатать одновременно обе пары шестерен при нулевом давлении  $P = 0$  и напряжении двигателя  $U = 28$  вольт в определенное время. При этом на приборной панели необходимо полностью открыть дроссели (7; 8); включить переключатель (9). После этого включается тумблер (5) и начинает работать электродвигатель, который через соединительную муфту приводит во вращение шестеренчатый насос. С помощью реостата (6) устанавливается необходимое напряжение, показываемое вольтметром (4), и в течение 2-х минут при  $P = 0$  производится обкатка.

4. Раздельно обкатать каждую пару шестерен насоса при  $P = 100$  МПа;  $U_{дв} = 28$  в;  $t = 2$  мин.

Например, обкатывается правая пара шестерен. Дросселем (7) устанавливаем необходимое давление (манометр 1) и напряжение (реостат 6). Дроссель для левой пары остается открытым. Тумблер (5) включен. Через 2 мин снимается давление с правой пары шестерен путем открытия дросселя правой пары. Аналогично обкатывается левая пара шестерен. После окончания этого цикла останавливается электродвигатель, сбрасывается давление.

Далее производится обкатка каждой пары раздельно при давлениях  $P = 30; 50; 70$  атм, при напряжении двигателя  $U_{дв} = 29$  в течение 2-х минут на каждом режиме. После обкатки шестеренчатый насос промывается в ваннах с уайт-спиритом и маслом.

### **Замер производительности насоса и испытание предохранительных клапанов**

Конструкция парикового предохранительного клапана дана на [рис.1.16](#). Эти испытания производятся на специальном стенде, который позволяет проводить проверку производительности насоса при холостом ходе, нагрузкой ( $P_{илев}$  и  $P_{ипр}$ ), а также определять



начало срабатывания предохранительного клапана.

Стенд для испытания производительности насоса и срабатывания предохранительных клапанов ([рис.1.17](#)) представляет собой основание, выполненное в виде каркаса 18. Внутри каркаса расположен бачок с маслом (6) емкостью 40 л, куда погружается шестеренчатый насос с помощью специального приспособления, аналогичного обкатке ([рис.1.15](#)). Насос соединяется с двумя мерными емкостями (3; 4) объемом 5 л (цена деления шкалы 20 см). Привод насоса осуществляется от технологического электродвигателя. На основании-каркасе (18) смонтирован пульт (19), на котором располагаются все измерительные приборы и рукоятки системы управления. На щите расположены шкалы двухмерных емкостей для замера производительности насоса для левой и правой сторон. Кроме того имеются манометры (1) и (2) замера рабочих давлений в рабочей полости насоса, а также вольтметр (15) и амперметр (14) контроля параметров тока электродвигателя. Напряжение питания электродвигателей меняется реостатом (11). Замер числа оборотов осуществляется с помощью стробоскопического тахометра. Для обеспечения точного времени заполнения мерной емкости при работе насоса в гидросистеме стенда имеется реле времени (13), которое включается в момент слива с помощью кранов слива (7 и 8). Через определенное время реле отключает кран слива. На пульте управления имеются также рукоятки дросселей (5; 9) для изменения проходного сечения гидросистемы на выходе из каждой пары шестерен насоса.

Порядок замера производительности насоса и испытание на срабатывание можно проследить по гидравлической схеме стенда, показанной на [рис.1.18](#).

Испытываемый насос (12) устанавливается на плату приспособления (14) и подсоединяется к технологическому электродвигателю (10), затем вся подборка опускается в ванну (6) с маслом. Из мерных емкостей сливается масло кранами слива (7) и (8). После слива эти краны оставляют в положении "закрыто". Потом включается электродвигатель вращения (10) насоса. В это время трехходовые краны (7) и (8) ставятся в положение "слив в бачок". Делают замер расхода насоса без давления и с давлением для обеих полостей насоса отдельно:

а) Без давления

Полностью открывается дроссель (5). Кран (7) перебрасывается в положение "В МЕРНУЮ ЕМКОСТЬ". Одновременно включается реле времени (11). Перед этим с помощью реостата отрегулированы нужное напряжение и ток, потребляемые электродвигателем. Через определенное время закрывается кран (7). Затем по тарировочной шкале на мерной емкости (3) или (4) определяется объем заполнения, а по реле времени - период заполнения. Зная эти величины, можно рассчитать производительность насоса.

б) Под давлением

Нужное давление в линии устанавливается дросселем (5) или (9). Оно контролируется по манометру (1). Остальные операции аналогичны случаю испытания без давления.

### **Проверка срабатывания предохранительных клапанов**

Увеличивая дросселем (9) давление, смотрим по манометру (1), при каком давлении срабатывают предохранительные клапаны (15). Если тарировка клапана в пределах нормы, то он контрится, если нет - производится регулировка.

После замера производительности и испытания на срабатывание предохранительных клапанов годные шестеренчатые насосы подаются на общую сборку рулевой машинки.

## 1.7. СБОРКА И РЕГУЛИРОВКА УЗЛА УПРАВЛЕНИЯ

Узел управления предназначен для обеспечения в определенное время подвода рабочего давления масла с той или другой стороны кривошипно-шатунного механизма, а значит перемещения вала рулевой машинки в нужном направлении и на определенную величину. Конструкция узла управления показана на [рис.1.19](#).

Он состоит из штампованного алюминиевого сплава кронштейна (8), поляризованного реле (5), которое крепится к вертикальной стенке кронштейна одним болтом (13) и двумя винтами (14). Для обеспечения соединения вала реле (6) с качалкой в вертикальной стенке имеется окно (15). На горизонтальной полке кронштейна закрепляется качалка (1). Она представляет собой сложную по конфигурации штампованную деталь, которая соединяется с одной стороны с валом (6) реле, а с другой стороны опирается на подшипник (10) через валик (9). Качалка на обоих плечах несет муфты (2), к которым на общей сборке крепятся золотниковые поршни. Для регулировки скорости перемещения качалки предусмотрена пластинчатая пружина (7), которая одним концом крепится двумя болтами (16) к качалке, а другим - двумя болтами (18) к неподвижной опоре кронштейна (17). Для крепления узла управления при общей сборке рулевой машинки к шестеренчатому насосу в горизонтальной полке имеются отверстия (19). Отверстия (20) предназначены для крепления воздушных клапанов, связывающих полости силового цилиндра с камерой низкого давления.

Рассмотрим технологический процесс сборки и балансировки узла управления.

Вначале качалка (1) собирается с муфтами (2). При этом необходимо выдержать определенный размер (Н) и законтрить гайками (4). Затем нужно вставить болт (21) и шпильку (11) по разрезным осям крепления качалок и затянуть предварительно. Потом на качалке закрепляются пластинчатая пружина (7) с помощью накладки и двух болтов (16) и противовес (3) двумя винтами. После этого качалка проходит статическую балансировку. На муфтах (2) закрепляют грузики, имитирующие вес золотниковых поршней, пружин и гаек крепления.

Качалку устанавливают на вал специального приспособления и проводят балансировку путем подпиливания противовеса (3).

Валик (9) запрессовывается в подшипник (10), устанавливается в отверстие качалки и закрепляется гайками (12). Теперь также в специальном приспособлении производится сборка качалки с реле и кронштейном. На кронштейне (8) устанавливается поляризованное реле (5) и закрепляется болтом (13) и винтами (14). Качалка надевается на вал реле (6) и закрепляется болтом (21). Потом устанавливается корпус подшипника (22) и закрепляется двумя болтами (23). И, наконец, другой конец пружины (7) закрепляется на опоре кронштейна (17) планкой и двумя болтами (18).

На этом сборка узла управления заканчивается, и он поступает на динамическую балансировку.

Динамическая балансировка заключается в обеспечении баланса качалки (неподвижности ее) при воздействии значительных сил (нагрузок). Динамическое воздействие сил на узел управления осуществляется с помощью центробежного стенда. Узел управления закрепляется на поворотном столе стенда с помощью специального приспособления, которое позволяет определить отклонение качалки (дисбаланс).

На [рис.1.20](#) показана электрическая схема динамической балансировки. На муфтах (6) качалки (5) закрепляется специальная стрелка (1) с контактами (7). Напротив контактов закрепляются микрометрические винты (3) с определенным зазором. Микрометрические винты, стрелка и качалка включены в электрическую цепь. В случае перемещения (дисбаланса) качалки контакт стрелки (7) касается микрометрического винта (3), и цепь замыкается, что фиксируется миллиамперметром (4).

Порядок динамической балансировки заключается в следующем. Микрометрические винты поочередно подводятся к контактам стрелки, и записываются показания, определяющее ее статическое положение. Затем один микрометр отводится за пределы контактирования, а второй - на величину, обеспечивающую контактирование при заданной перегрузке (20g), а потом - на минимальную величину, обеспечивающую отсутствие контактирования. Потом то же повторяется для первого микрометрического винта. Разность между величиной перемещения контактов микрометров от нулевого положения качалки является величиной дисбаланса. Если величина дисбаланса больше допустимой, то с помощью балансировочных гаек (12) ее уменьшают до минимума. После динамической балансировки места крепления гаек фиксируются нитроклеем; узел управления промывается в уайт-спирите и подается на общую сборку рулевой машинки.

## 1.8. ОБЩАЯ СБОРКА И РЕГУЛИРОВКА РУЛЕВОЙ МАШИНКИ

Общая сборка рулевой машинки является заключительным этапом процесса сборки. К качеству и условиям общей сборки предъявляются высокие требования. Сборку узлов и их монтаж можно производить только в перчатках и специальной одежде. Детали и узлы до окончательной сборки следует хранить погруженными в масло. Знакомство с порядком общей сборки дает возможность представить целиком всю последовательность технологического процесса окончательной сборки рулевой машинки, компоновка которой показана на [рис.1.21](#).

### Порядок общей сборки рулевой машинки

Общая сборка рулевой машинки производится в соответствии со схемой ([рис.1.4](#)), рассмотренной ранее, и состоит из следующих операций и заданий:

1. Проверка комплектности деталей согласно технологической карте и соответствия клейму номеру рулевого агрегата.

2. Проверка внешним осмотром чистоты и исправности деталей и узлов рулевой машинки. Забоины и царапины не допускаются.

3. Сборка силового кривошипно-шатунного механизма из отдельных деталей: поршня (13), шатуна (12), кривошипа (11), вала рулевой машинки (10) и др. и проверка плавности хода поршня в цилиндре и угла поворота вала (10) с помощью специального приспособления.

4. Установка шестеренчатого насоса (20) в корпусе (3) на плоскость пластика (19) и крепление четырьмя болтами (22).

5. Обкатка шестеренчатого насоса (20) в корпусе рулевой машинки.

6. Пайка электрических жгутов (18) к поляризованному реле (4) и штепсельному разъему (5).

7. Установка реле с качалкой. Установить и закрепить качалку (17) с реле (4) к насосу (20) с помощью кронштейна (16) четырьмя болтами (21).

8. Установка экранов на кронштейн реле.

9. Сборка и установка золотниковых поршней.

10. Подготовка и установка технологического электродвигателя (2).

11. Промывка внутренней полости рулевой машинки.

12. Установка дренажных воздушных клапанов (24), соединяющих обе полости силового цилиндра с камерой низкого давления.

Конструкция воздушного клапана показана на [рис.1.22](#).

13. Заливка машины маслом РМЦ (7) (рафинированное машинное).

14. Регулировка параметров машинки.

15. Технологическая вибрация.

16. Окончательная регулировка машинки.

17. Обкатка рулевой машинки.

18. Проверка параметров машинки.

19. Контроль крепёжных деталей.

20. Слив масла. Проверка момента трения насоса. Промывка.

21. Заливка машинки маслом РМЦ в соответствии с техническими требованиями.

22. Установка штатного электродвигателя (2). Закрытие машинки и крепление шестью болтами (23).

23. Промывка внешней поверхности. Внешний осмотр.

Рассмотрим операции пайки электрожгутов, заливки маслом, регулировки и проверки параметров рулевой машинки более подробно.

## **Пайка электрожгутов к поляризованному реле и штепсельному разъему**

Эта операция - производится согласно схеме, представленной на [рис.1.23](#). Как видно из схемы, штепсельный разъем (1) электрически соединяется с реле (2) двумя участками проводов. Первый участок проводов (3) соединяет ШР с наружным выводом штыревой клеммы (4). При этом провода к ШР крепятся пайкой, а к штыревым клеммам с помощью гаек (5). Штыревые клеммы изолированы и герметизированы от корпуса рулевой машинки (6) с помощью резиновых втулок (7). Второй участок проводов (8) находится внутри корпуса рулевой машинки. Эти провода соединяются со штыревыми клеммами и клеммами (9) реле пайкой.

Порядок процесса пайки заключается в следующем. Вначале производится подготовка к пайке. Зачищаются провода и хлорвиниловые трубки. Зачищается изоляция на концах, и они промываются спиртом. После чего производится бескислотная пайка проводов в необходимых местах. Применяется припой ПОС-61 и ЛТИ-120 или спиртоканифольная смесь. Температура паяльника  $220 \div 240$  °С. После пайки качество соединения оценивается внешним осмотром, а прочность усилием .....кГ, прикладываемым вдоль оси прохода.

### **Заливка масла в рулевую машинку**

К заливке масла в рулевую машинку предъявляются очень высокие требования. Необходимо обеспечить идеальную чистоту масла и строго определенный объем.

В качестве рабочих жидкостей в гидравлических рулевых машинках применяются рафинированные из нефтепродуктов, которые обладают хорошими смазывающими свойствами по отношению к применяемым материалам трущихся пар, минимальной зависимостью изменения вязкости от температуры в требуемом диапазоне, нейтральностью к применяемым материалам, высоким объемным модулем упругости и малым коэффициентом теплового расширения, а также рядом других ценных свойств.

Заливка масла в рулевую машинку производится на специальном стенде, конструкция которого показана на [рис.1.24](#).

Вначале стенд подготавливается к заливке маслом. Колбы, трубопроводы промываются, затем продуваются горячим воздухом. Этот цикл проводят для определенной партии машинок.

Заливка масла в колбы (3; 4) осуществляется следующим образом. Щуп с сеточным фильтром (13) опускается в емкость с маслом. Трехходовой кран (8) перебрасывается в положение "в колбу", и включается тумблер (14) электродвигателя (7) с помпой. После заливки колбы Р.М. устанавливается на панель-корыто (5) под заливную колонку (6). Открывается кран (12), и масло качается в рулевую машинку до определенного уровня.

По окончании заливки специальным дозиметром из рулевой машинки выбираются несколько кубиков масла.

### **Регулировка**

Регулировка рулевой машинки ([рис.1.25](#)) осуществляется, во-первых, за счет изменения расстояния " L " от оси вращения качалки (5) (или ее плоскости) до торца плунжера (8), что дает возможность обеспечивать необходимое перекрытие или проходное сечение выходных каналов (12), сообщающих нагнетающую сторону насоса с камерой низкого давления. Выходные каналы расположены в ведомых шестернях. Плавающий плунжер представляет собой трубку (8) с окнами (11), подвижно связанную через проволоку (7), с головкой (6), в которой имеется штифт (2). Закрепление плунжера (8) на муфте (1) качалки осуществляется за счет опирания штифта (2) на пружину (4). Изменяя длину пружины за счет гайки (3), можно обеспечить необходимую длину " L " , а стало быть и

нужное проходное сечение отверстий (12).

Кроме того, чувствительность рулевой машинки зависит от жесткости (длины) пластинчатой пружины, которая связывает качалку с кронштейном крепления реле, о чем указывалось в п. 1.7. Изменением длины этой пружины добиваются необходимой величины чувствительности агрегата.

После общей сборки и предварительной заливки маслом рулевая машинка подвергается регулировке. В процессе регулировки добиваются обеспечения необходимых параметров (характеристик) ее в соответствии с техническими условиями. Например, обеспечения нулевого (исходного) положения выходного вала рулевой машинки при отсутствии командного тока ( $i_k = 0$ ) определенной чувствительности, необходимой скорости и угла поворота в двух направлениях при различных величинах командного тока, динамических характеристик и т.п.

Возможное смещение вала рулевой машинки от нулевого положения, а также разброс величин параметров при повороте вала связаны с погрешностями изготовления насоса (разные производительности на правой и левой парах), погрешностями каналов, золотниковых поршней и т.п.

Регулировка осуществляется на специальной установке. С пультом управления, которая дает возможность проверить все параметры рулевой машинки.

Для того, чтобы обеспечить доступ рабочего-исполнителя к механизму управления (реле с качалкой и золотниковым поршнем), электродвигатель рулевой машинки поднимается относительно корпуса на специальной подставке и через технологический удлиненный вал соединяется с ведущей шестерней насоса.

#### **Установка для регулировки и испытания рулевой машинки.**

Установка ([рис.1.26](#)) представляет собой жесткий сварной стол (22), на который устанавливаются пулы управления (5) и рулевая машинка (3). Для создания динамической нагрузки внизу стола смонтирована плоская пружина (8), один конец которой закреплен неподвижно, а другой - свободный - соединен с подвижным зубчатым сектором (28). Длину свободной части пружины можно менять с помощью специального зажима (4), что создает определенную жесткость пружины, а следовательно, и определенную величину нагрузки вала рулевой машинки. Для создания статического нагружения стенд имеет специальный двуплечий рычаг (27), на который подвешиваются грузы (30) определенной величины.

Для управления рулевой машинкой и замеров необходимых параметров применяется специальный электрический пульт, который подает постоянное напряжение (28 В) к электродвигателю, напряжение 220 В переменного тока - к электрическому тахометру и потенциометру, а также дает возможность создавать необходимые командные токи.

#### **Техническая характеристика установки**

Максимальная нагрузка при снятии скоростных характеристик до 80 кг.

Угол поворота двуплечего рычага установки не менее  $\pm 45^\circ$ . Максимальная нагрузка при снятии динамических характеристик до 25 кг.

Градиент нагрузки 0,5 кг/град. Точность замера угла поворота вала (при цене деления шкалы не более  $20^\circ \pm 20^\circ$ ).

Нечувствительность двуплечего рычага в обе стороны с измерительным потенциометром из любого рабочего положения не более 0,05 кг.

Габариты стенда 1740 x 1450 x 1410 мм.

Порядок работы на установке при замере параметров регулировки рулевого агрегата.

1. Установить рулевую машинку на кронштейн (I) стенда и закрепить. На

специальной подставке (33) установить электродвигатель (35), вал которого соединяется с ведущей шестерней насоса с помощью удлинителя.

2. Подсоединить Ш.Р. пульта жгутом к рулевой машинке, и пульт подключить в сеть.

3. Подогреть масло в рулевой машинке до температуры  $35 \pm 5^\circ$  и включить пульт. Эта операция производится на холостом ходу без подачи команд и без нагрузки. Время предварительного прогрева примерно 3-5 минут.

4. Проверить подвижку ненагруженного исполнительного вала силового механизма при включенной обмотке подмагничивания и отсутствии сигналов на обмотках управления поляризованного реле.

Подвижка вала допускается, но должна прекращаться при подаче в одну из управляющих обмоток сигнала не более 0,25 ма (и не более 0,5 ма в процессе эксплуатации).

Если подвижка вала не прекратится при подаче сигнала 0,25 ма, то следует произвести регулировку, для чего снизить давление жидкости до "0" (выключить эл. мотор) и установить такую длину золотникового поршня, при которой будет отсутствовать подвижка вала Р.М.

5. Проверить зону нечувствительности.

Зона нечувствительности рулевой машинки есть интервал сигналов, в котором исполнительный вал остается неподвижным. Зона нечувствительности представляет собой сумму абсолютных значений сигналов, если они имеют разные знаки (направления), и разность, если знаки сигналов одинаковы. А под чувствительностью рулевой машинки понимается величина минимального командного тока, при котором происходит трогание вала рулевой машинки. Для определения зоны нечувствительности подают сигнал в обмотку управления поочередно - 0,1ма, 0,2ма, 0,3ма и т.д. - до тех пор, пока вал начнет двигаться. Из имеющихся данных о величине поданного сигнала, при котором произошло начало движения вала, определяют зону нечувствительности агрегата, которая должна быть не более 0,5ма. Например, движение вала по часовой стрелке начинается при  $i_K = +0,4\text{ма}$ , а против - при - 0,1ма. Зона нечувствительности  $|-0,1| + |0,4| = 0,5\text{ ма}$ .

6. Проверить величину смещения нуля.

Величина смещения нуля равна полусумме сигналов, определяющих зону нечувствительности с учетом их знаков.

Для указанного примера смещение нуля будет равно:

$$\frac{(-0,1) + (0,4)}{2} = 0,15\text{ ма}.$$

По техническим условиям смещение нуля в ту и другую сторону должно быть не более 0,25 ма.

7. Проверить скоростную характеристику рулевой машинки.

Скоростная характеристика проверяется величиной угла поворота вала рулевой наливки в зависимости от характера нагружения вала и величины командного тока.

Вначале производится замер скорости вращения вала при холостом ходе рулевой машинки, т.е. без нагрузки. Для этого по вольтметру (9) с помощью регулятора (34) устанавливается нужное напряжение питания электродвигателя. С помощью переключателя (12) и регулятора (16) устанавливается определенная величина командного тока (например, 10 ма). Затем ручным переключателем (17) обеспечивается вращение вала рулевой машинки по часовой стрелке и наоборот. При этом по амперметру (11) замеряется ток, потребляемый электродвигателем. С помощью электротехометра (10) замеряется скорость поворота вала рулевой наливки.

Затем замеряется скорость вращения при динамическом нагружении вала рулевой машинки. Динамическое нагружение осуществляется с помощью плоской пружины (8) за счет



соединения конца свободной части пружины через подвижный сектор (28) и рычаг (23) с валом рулевой машинки. Длина свободной части пружины зависит от положения прижима (4), который перемещается вращением рукоятки (21).

8. Подавая определенную величину командного тока по шкале (25) определяют угол поворота и скорость вращения по эл.тахометру (10). Величина скорости вращения должна соответствовать требуемому градиенту изменения нагрузки по углу поворота

$$(\alpha_{\mu} = \frac{M_{кр} \text{ кгм}}{\alpha_{повор} \text{ град}}).$$

Так же производится замер скорости вращения вала рулевой машинки при статическом нагружении. Для загрузки применяется рычаг (27), на который поочередно подвешивается груз (30) то с одной, то с другой стороны, создающий определенный крутящий момент загрузки. В зависимости от величины командного тока и загрузки замеряется скорость вращения вала рулевой машинки.

Величины скорости вращения вала рулевой машинки. Должны соответствовать техническим требованиям.

9. Проверить правильность направления вращения вала рулевой машинки.

Для этого подают командный ток разных знаков - (+) или (-). По отклонению стрелки эл.тахометра вправо или влево, судят о направлении вращения вала рулевой машинки. Если подается плюсовой ток, то вал вращается по часовой стрелке (если смотреть с торца на вал), а при минусовом токе - против часовой стрелки.

10. Проверить величину тока, потребляемого электродвигателем по амперметру (II) при холостом ходе и под нагрузкой рулевой машинки.

После регулировки масло заменяется, окончательно закрепляется эл.двигатель (35) к фланцу корпуса, и рулевая машинка поступает на испытания.



## **2. ИСПЫТАНИЯ РУЛЕВЫХ МАШИНОК**

После сборки и регулировки рулевые машинки проходят широкий комплекс различных видов испытаний с целью определения действительной, а вернее номинальной технической работоспособности и надежности.

В соответствии с техническими условиями рулевые машинки подвергаются следующим видам испытаний:

приработочным;

контрольным;

типовым;

транспортным;

ресурсным.

Рассмотрим содержание этих испытаний.

## 2.1. ПРИРАБОТОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Они предназначены для выявления дефектов (отказов), появившихся в процессе производства. Это первый этап работы собранной, готовой рулевой машинки, когда вероятность появления отказа наибольшая. Поэтому приработку рулевые машинки проходят на производстве с тем, чтобы в эксплуатации избежать отказов. Приработке подлежат все рулевые машинки. Она заключается в следующем.

Рулевая машинка закрепляется в кронштейне на стенде ([рис.1.26](#)).

Затем подсоединяется загрузочное статическое приспособление. После этого производится приработка агрегата под нагрузкой на валу рулевой машинки путем подачи попеременно в обмотки управления командного тока.

Программа приработочных испытаний включает в себя цикличную работу рулевой машинки в определенных режимах. Например, рулевая машинка работает 30 циклов по 20 минут. При этом 15 минут она работает вхолостую, а 5 минут с подачей команд. Через каждые 5 циклов проверяются параметры работоспособности рулевой машинки. Кроме того, меняется частота и форма команд, которая создается специальным прибором - низкочастотным генератором периодических колебаний НГПК-2, так называемым синус-датчиком. Время приработочных испытаний составляет 10% ресурса рулевой машинки. После окончания испытаний в случае необходимости производится регулировка и проверка параметров рулевой машинки.

## 2.2. КОНТРОЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Они предназначены для определения работоспособности при испытаниях рулевых машинок на вибрацию и герметичность, а также включают в себя контроль прочности и сопротивления изоляции электрических проводов разобщенных цепей.

Контрольные испытания проходят все рулевые машинки.

**Испытания на вибрацию** являются одним из видов испытаний рулевых машинок на влияние механических воздействий. При этом испытании проверяют прочность и устойчивость рулевых машинок. Изделия, способные противостоять разрушающему влиянию механических воздействий (вибрации, тряске и ударам) и продолжать после этого нормально выполнять свои функции, относятся к вибропрочным, тряскопрочным и ударопрочным. Изделия, способные нормально выполнять свои функции во время вибрации, тряски считаются виброустойчивыми и тряскоустойчивыми. К основным источникам вибрации на летательных аппаратах относится двигательная установка.

Устройство, создающее искусственную вибрацию для испытания, называется вибратором.

Испытания чаще всего проводятся с помощью специальных установок вибрационных стенов, характеристики которых приведены в [табл.2.1](#) и [табл.2.2](#).

Наиболее часто приборы и агрегаты летательных аппаратов подвергаются при испытании вибрации синусоидальной формы, которая характеризуется следующими основными параметрами, связанными формулами:

$$Jg = \frac{(2\pi\nu)^2 \cdot S}{g} = \frac{4\pi^2\nu^2 S}{9.81}, \quad (1)$$

или, с некоторым приближением:

$$Jg = \frac{2 \cdot S}{500} \cdot \nu^2, \quad (2)$$

где

$S$  - амплитуда смещения, мм;

$Jg$  - амплитуда ускорения в единицах  $g$ ;

$\nu$  - частота вибрации в секунду или Гц ( $\nu = n/60$ );

$n$  - частота вибрации в мин.

Контроль параметров вибрации рабочего стола стенов осуществляется с помощью частотомера с визуальным индикатором и микроскопом для отсчета амплитуд вибрационных смещений рабочего стола. Иногда вибростенд снабжается счетчиком циклов колебаний дистанционным виброакселерометром (виброметром) для измерения вибрационных ускорений (или смещений) стола.

При испытаниях рулевых машинок наиболее часто используются механические инерционные вибростенды

### Инерционные вибростенды

У инерционных вибростенов вибрация рабочего стола возникает под действием результирующей центробежной силы, создаваемой двумя неуравновешенными массами, вращающимися в противоположных направлениях.

Масса вибрирующей части стенов ([рис.2.1](#)) вместе с массой испытуемых приборов составляет массу подвижной части, вес которой уравнивается пружиной (3). Вибратор (4) состоит из двух вращающихся в разные стороны валов, на концах которых насажены грузы в виде двух стальных секторов. Вал (11) получает вращение от электродвигателя (5)

через клиноременную передачу (7) и, будучи связан с зубчатой передачей (8), (9) с другим валом, сообщает ему движение с той же скоростью, но в обратном направлении.

Механизм вибратора собирается так, чтобы результирующая центробежная сила  $F$ , создаваемая неуравновешенными грузами, была направлена вдоль оси (2). Эта сила, приводящая подвижную часть станда в возвратно - поступательное движение, определяется из формулы:

$$F = 2F_0 \cdot \omega \cdot t, \quad (3)$$

где

$F = m \cdot R \cdot \omega$  - центробежная сила одного вращающегося груза;

$\omega$  - угловая скорость вращения груза;

$m$  - масса груза;

$R$  - расстояние от оси вращения до центра тяжести груза;

$t$  - время испытания.

При испытании на рабочем столе (1) жестко закрепленного изделия амплитуда колебания рабочего стола может быть найдена из уравнения:

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} + 2 \cdot F_0 \sin \omega t = 0, \quad (4)$$

где

$M$  - масса всей подвижной системы;

$x$  - смещение стола (1) относительно положения равновесия;

$k$  - жесткость пружины (3).

Для установившихся вынужденных колебаний можно найти из этого уравнения величину смещения:

$$x = A \sin \omega t, \quad (5)$$

где

$A$  - амплитуда колебания.

Выражение для определения амплитуды вибрации стола получается после дифференцирования уравнения (5) по времени и подстановки результата дифференцирования в уравнение (3):

$$A = \frac{2 \cdot m \cdot R}{\mu \left(1 - \frac{f_0^2}{f^2}\right)}, \quad (6)$$

где

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{M}}$$

- частота собственных колебаний подвижной части станда на компенсирующей пружине;

$f$  - частота вынужденных колебаний подвижной части, равная числу оборотов валов вибратора в сек.

Полагая, что  $f_0 \ll f$ , получим из выражения (6) величину:

$$A = \frac{2 \cdot m \cdot R}{M} \quad (7)$$

Обозначив кинетический момент вибратора  $P = 2mRg$ , а вес подвижной системы  $Q = Mg$ , можем написать:

$$A = \frac{P}{Q}, \quad (8)$$

т.е. амплитуда колебания от частоты не зависит.

Как указывалось, на каждом валу вибратора закрепляются на концах по два сектора. По одному сектору на каждом конце вала закрепляется жестко, но так, чтобы их радиальные направления совпадали. Два других сектора вала, по одному с каждого конца, также жестко укреплены на валу и радиальные их направления совпадают, но отличаются от направления первых двух секторов на некоторый угол  $\Theta$ . Таким образом, из формул (3), (5), (6) можно написать:

$$F = 2zF_0 \cdot \cos(\Theta/2) \cdot \sin \omega t = 2zm_0R\omega^2 \cdot \cos(\Theta/2) \cdot \sin \omega t,$$

$$A = \frac{2 \cdot m_0 \cdot R \cdot z \cdot \cos \frac{\Theta}{2}}{M}, \quad (9)$$

где

$m_0$  - масса одного сектора;

$z$  - число грузов на одной валу;

$Q$  - угол между парными грузами.

Из приведенных выражений видно, что изменение амплитуды колебания удобно получать изменением угла  $\Theta$ . Конструкцией вибростенда предусмотрена возможность изменения и надежной фиксации этого угла ([рис.2.2](#)).

Максимально допустимую амплитуду стола стенда при наибольшей частоте колебания и заданной величине максимально допустимого ускорения можно вычислить по известной формуле:

$$Jg = \frac{A \cdot v^2}{250}. \quad (10)$$

Для облегчения работы в процессе испытания заранее вычисляет по формуле (10) таблицы значений амплитуды для различных частот и ускорений.

По формуле (9) можно составить таблицу, характеризующую зависимость амплитуды от нагрузки на рабочий стол и положения секторов.

Изменение режима работы стенда осуществляется с помощью отдельного блока, включающего в себя выпрямитель и пульт управления. Стенд получает питание от сети переменного тока (220 в, 50 гц), последний преобразуется селеновый выпрямитель в постоянный ( $U = 220$  в). Число оборотов двигателя определяет частоту колебания.

Необходимая величина угла сдвига секторов определяется по таблице или расчетом.

В случае недопустимого уменьшения зазора между столом и станиной (большой вес изделия), стол поднимают воздействием винта (10) на пружину (3) через промежуточный рычаг.

Стенд устанавливается строго горизонтально и заземляется. При контрольных испытаниях рулевых машинок на низких частотах широко применяется инерционный вибростенд ВС-70, конструкция которого показана на [рис.2.3](#). Этот стенд обеспечивает изменение диапазона частот в пределах 15-70 гц и амплитуд 0-2,5 мм. Предельная нагрузка на платформу до 70 кг.

Теперь рассмотрим порядок испытания рулевых машинок на вибрационном стенде ВС-70 на типовом технологическом процессе:

1. Установить рулевую машинку в приспособлении на стол стенда и закрепить, совмещая ось ее электродвигателя с осью вибратора.

2. Смазать краской места крепления рулевой машинки.
  3. Настроить вибростенд на нужные параметры испытания.
  4. Включить вибростенд и подвергнуть вибрации рулевую машинку на следующих режимах: частота - 50 - 70 герц, амплитуда - 0,5 - 1,0 мм в течение 3-5 минут.
  5. Выключить стенд. Проверить внешним осмотром наличие не герметичности и ослабления болтов.
  6. Установить рулевую машинку в другое положение, повернув ее на 90°, и повторить испытание.
- После контрольных виброиспытаний рулевая машинка подвергается проверке всех параметров работоспособности на стенде.

### **Испытание на герметичность при пониженном давлении**

Это контрольное испытание производится в специальной бронекамере ([рис.2.4](#)) (бронешкафу). Она представляет собой стальной бронешкаф сварной конструкции (1), установленный на сварной подставке (6), опирающейся на пол цеха. Для установки рулевой машинки в камере имеется дверца (4) с бронестеклом (5), дающая возможность осуществлять наблюдения. Дверца герметичная, и во время испытания крепко закрывается четырьмя зажимами (2).

Кроме того в камере имеется несколько отверстий. Отверстие со штуцером (8) служит для подсоединения мановакуумметра ЛТ-2. Винт (3) закрывает дренажное отверстие. Через окно (10) подключается герметичный ввод для управления рулевой машинкой. Разряжение в камере достигается с помощью механического вакуумного насоса ВН-1 (9), работающего от электродвигателя (7).

#### **Техническая характеристика**

1. Вакуум - 0,5 мм. рт. ст.
2. Объем камеры - 1 м<sup>3</sup>.
3. Вакуумный насос ВН-1.
4. Средняя скорость откачки - 18,3 л/сек.
5. Габариты камеры 1600 x 640 x 1090 ш.

Порядок испытания на герметичность следующий:

1. Установить рулевую машинку в камеру и подсоединить штепсельный разъем к стенду для управления.
  2. Закрыть и закрепить дверцу камеры (4) и завернуть дренажный винт (3).
  3. Включить вакуумнасос ВН-1 и довести давление до  $p = 5$  мм рт.ст.
  4. Выдержать рулевую машинку при этом давлении 15 мин.
  5. Включить рулевую машинку и поработать 5 мин.
  6. Отключить рулевую машинку.
  7. Отключить вакуумный насос.
  8. Открыть дренажный винт (3).
  9. Открыть дверцу камеры и вынуть приводной механизм.
  10. Осмотреть Р.М. на наличие негерметичности, используя фильтровальную бумагу.
- Не допускается запотевание корпуса рулевой машинки.

#### **Электрические испытания изоляции токоведущих цепей рулевой машинки**

Эти испытания состоят из проверки электрической прочности изоляции и измерения ее электрического сопротивления.

Проверка электрической прочности и сопротивления изоляции производится на

собранных агрегатах между электрически несоединенными цепями между электрическими цепями и металлическими нетоковедущими частями изделия.

Вначале проверяется электрическая прочность, а затем - сопротивление изоляции.

Места приложения испытательного напряжения оговариваются в программе испытания или в технических условиях.

### **Проверка электрической прочности изоляции**

Электрической прочностью называется способность электрической изоляции выдерживать действие приложенного к ней электрического напряжения.

Неограниченно высокое напряжение всегда оказывает разрушающее действие на любую изоляцию, вызывая ее пробой. Электрическая прочность изоляции (э.п.и.) характеризуется величиной напряжения, при которой наступает пробой. Это так называемое пробивное напряжение. Пробивное напряжение зависит от материала и толщины изоляции. Для надежной работы агрегатов и их электрических узлов рабочее напряжение изоляции должно быть меньше ее пробивного напряжения. Для проверки электрической прочности изоляция рулевой машинки и ее электрических узлов подвергается испытанию путем приложения электрического напряжения, которое значительно больше напряжения питания изделия, но меньше пробивного напряжения.

Величина испытательного напряжения берется в зависимости от величины напряжения питания прибора. При напряжении питания до  $U = 99$  В испытательное напряжение  $U_{\text{исп}}$  берется равным 500 В. При  $U = 100 - 650$  В  $U_{\text{исп}} = 2000$  В.

При  $U = 651 - 1000$  В  $U_{\text{исп}} = 3000$  В.

Испытание проводится переменным током частотой 50 герц при мощности источника 0,5 кВА.

Проверка электрической прочности изоляции производится на специальных установках.

Проверка сопротивления изоляции производится с помощью универсальных электроизмерительных приборов-тестеров, а также специальных приборов мегометров.

## 2.3. ТИПОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Эти испытания предназначены для определения качества и работоспособности рулевых машинок в условиях, типичных для эксплуатации. Эти условия определяются тремя основными факторами: механическими нагрузками, связанными с работой конструкции в полете, окружающими условиями (температура, давление, влажность), возможностями транспортировки.

Типовым контрольным испытаниям подвергаются 3-5% Р.М. от серии, но не менее трех. После типовых испытаний рулевые машинки на изделие не ставятся.

Программа типовых испытаний включает:

- испытания на вибронагрузки с повышенной частотой;
- испытания на воздействие линейных центробежных ускорений;
- испытания на воздействие высокой температуры;
- испытания на воздействие низкой температуры;
- испытания на воздействие повышенной относительной влажности;
- испытания на воздействие пониженных давлений.

### **Испытания на виброустойчивость с повышенной частотой.**

Эти испытания проводятся на специальных электромагнитных и электродинамических стендах. Рулевая машинка устанавливается в специальное приспособление и закрепляется на столе стенда в определенном заданном положении относительно направления действующих сил. Затем производится испытание на режимах: частота = 300 Гц и амплитуда - 1 мм. Время испытания ~ 5 мин. После испытания проверяется надежность крепления болтовых соединений: нет ли самоотвинчивания, а затем провернется на стенде параметры работоспособности рулевой машинки.

В нашей промышленности получили распространение электромагнитные вибростенды фирмы Аскания (Тельтов, Берлин, ГДР). Рассмотрим для примера стенд 20-1000 ([рис.2.5](#)).

#### **Техническая характеристика**

Диапазон частот 20-1000 Гц.

Диапазон амплитуд 0 - 8 мм.

Диапазон ускорений 0-12 g.

Максимальный вес испытываемого изделия 15 кг.

Вес стола 500 кг.

Площадь стола 90 x 56 см.

Вибростенд 20-1000 работает следующим образом. В поле электромагнита, питаемого постоянным током, вибрирует катушка, подключенная к сети переменного тока, амплитуда и частота которого могут регулироваться. С катушкой жестко связан вибрирующий рабочий стол, подведенный в чугунной станине (1).

Круглый стальной корпус (3) магнита установлен на резиновых буфетах (2) в подшипнике, где он может поворачиваться на угол до 90°. Наличие эластичных прокладок (2) устраняет необходимость в фундаменте. В корпусе (3) на сердечнике помещена катушка возбуждения (10). В воздушном зазоре магнита находится вибрирующая катушка (13), соединенная ведущим стержнем (9) с фланцем (8). Катушка, стержень и фланец образуют колебательную систему. Четыре плоские пружины (6), по две вверху и внизу, направляют колебательную систему при ее перемещении в зазоре. Для предотвращения возможного резонанса пружины снабжены амортизаторами (5).

Испытуемые агрегаты укрепляются либо на фланце (8), либо на плите (7), установленной на фланце. К вибросистеме жестко прикрепляется емкостный датчик



ускорения (17), а к корпусу - осциллятор (18) измерителя ускорения. Анодный ток покоя осциллятора устанавливается нажимом и поворотом ручки (19). В нижней части корпуса (3) находится планка (14) для подключения пульта.

Все вибрирующие и токопроводящие части защищены колпаками (4) и (16). Зажимы (11) удерживают рабочий стол в желаемом положении при наклоне от 0 до 90°. Через патрубок (12) подводится воздух для охлаждения. Помимо вибрирующего стола в комплект установки входят: пульт управления, панель включения, гетеродинный генератор, усилитель сигнала измеряемого ускорения, низкочастотный усилитель, узел присоединения к сети, узел питания, магнита и панель соединений.

### Электродинамический вибростенд

Этот стенд также широко применяется при виброиспытаниях рулевых машинок. Рассмотрим схему и принцип работы этого стенда ([рис.2.6](#)).

Возбудителем вибрации в этом стенде является электродинамический вибратор. Он состоит из железного магнитопровода (1) и катушки намагничивания (2), питаемой от генератора постоянного тока (11). Катушка намагничивания создает постоянное магнитное поле, переходящее по железному магнитопроводу. В верхней части магнитопровода имеется кольцевой зазор, в который помещается подвижная катушка (6), по обмоткам которой проходит переменный ток. В результате взаимодействия переменного тока в подвижной катушке (6) с постоянным магнитным полем в зазоре магнитопровода возникает сила, действующая на подвижную катушку. Таким образом, подвижная катушка колеблется с частотой, равной частоте питающего ее тока. Частоту питающего тока можно плавно менять при помощи звукового генератора. Трансляционный усилитель (9) служит для усиления мощности подводимого к подвижной катушке вибратора тока от генератора звуковой частоты (10).

Для получения больших амплитуд механическая часть вибростенда работает при резонансе. Упругим элементом-рессорой является вал (5). Настройка в резонанс осуществляется передвижением призм (4). К столу (8) закрепляется испытуемое изделие (7).

Для получения больших перегрузок механическую часть стенда необходимо настроить в резонанс по данным таблицы.

| №  | b, мм | f, Гц | J <sub>г</sub> | a – амплитуда, мм | Примечание   |
|----|-------|-------|----------------|-------------------|--|
| 1. | 10    | 80    | 32             | 1,23              | Перегрузка J <sub>г</sub> указана для нагрузки 30 ± 1 кГ |
| 2. | 150   | 120   | 42             | 0,748             |  |
| 3. | 352   | 290   | 38             | 0,123             |  |

Ускорение рассчитывается по формуле  $J_g = a \cdot \omega^2$ ,  
где  $\omega = 2 \pi f$ ; или находится по графику, если известны частота и амплитуда.

### Испытание на воздействие линейных (центробежных) ускорений

Это испытание на перегрузки проводится на специальных стендах-установках, представляющих собой вращающиеся столы. Установки (центрифуги), создающие в горизонтальной плоскости линейные (центробежные) радиально направленные ускорения, характеризуются следующими эксплуатационными параметрами:

- максимальной величиной линейного ускорения;
- скоростью нарастания линейных ускорений;
- допускаемой нагрузкой.

Принятое деление центрифуг по максимальной величине линейного ускорения показано в [табл.2.3](#) и по величине допускаемой нагрузки в [табл.2.4](#).

С помощью специальных устройств в системе управления центрифуги (тормозное устройство, реостатное управление и др.) обеспечивается регулирование скорости рабочего стола ([табл.2.5](#)).

### Основные требования к центрифугам

1. Наличие токосъемного устройства, позволяющего соединять электрические цепи испытуемых приборов (изделий) с неподвижной частью электрической схемы.

2. Возможность подвода в случае необходимости к испытываемым изделиям пневмопитания или создания вакуума.

3. Возможность измерения величины развиваемых центробежных ускорений и скорости их нарастания с помощью специальных измерительных приборов.

4. Динамическая уравновешенность вращающихся элементов, обеспечиваемая наличием набора соответствующих балансов.

Зависимость величины амплитуды ускорения ( $Jg$ ), выраженной в единицах ускорения силы тяжести ( $g$ ), от интересующих вас факторов можно получить следующим образом.

Если учесть, что угловая скорость  $\omega = \pi n/30$ , а амплитуда ускорения:

$$Jg = \frac{R\omega^2}{g}, \text{ то}$$
$$Jg = \frac{R\pi^2 n^2}{900g}, \quad (11)$$

где

$n$  - число оборотов вращающегося стола об/мин;

$R$  - радиус вращения, где закрепляется испытываемое изделие.

Откуда:

$$n = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{Jg}{R}}$$

Изменение амплитуды ускорения достигается двумя способами: изменением скорости вращения "n" несущей балки (стола) центрифуги и изменением радиуса вращения R, где закрепляется изделие.

Познакомимся с принципом работы и конструкцией центрифуг.

### Центрифуга ЛПИ имени М.И. Калинина.

#### Техническая характеристика

Диапазон создаваемых ускорений 3 - 50 g.

Максимальный вес испытуемых приборов 30 кг.

Число оборотов рабочего стола (балки) с испытуемым прибором от 20 до 240 в минуту.

Длина одного плеча 1,25 м.

Габарит центрифуги:

диаметр 3,4 м.

высота 1,5 м.

Вес центрифуги около 750 кг.

Определение необходимой скорости вращения несущей балки центрифуги по заданной величине ускорения (в единицах g) и известному радиусу вращения можно производить по номограммам или по справочной таблице, вычисленной для данной

центрифуги по формуле (11).

Центрифуга ([рис.2.7](#)) включает в себя электродвигатель (1), червячный редуктор (2), несущую балку (3), на которой укрепляются испытуемые изделия (6), коллектор (4) для передачи электрической энергии вращающимся изделиям, сварную раму (5), а также пульт управления центрифугой со щитом подключения испытуемых изделий.

Привод осуществляется от электродвигателя постоянного тока напряжением 27 В мощностью 6,6 кВт с числом оборотов ротора 2200 в мин. Вращение от двигателя (1) сообщается через редуктор (2) балке (3), представляющей собой жесткую клепаную конструкцию. Балка закрепляется на валу редуктора гайкой, предохраненной от самоотвинчивания стопорным винтом. На этой гайке четырьмя болтами закрепляется вращающаяся часть коллектора ([рис.2.8](#)).

На концах верхней плоскости балки имеется 60 отверстий диаметром 10 мм, предназначенных для крепления на ней специальных кронштейнов с установленными на них испытуемыми изделиями.

По обе стороны верхней плоскости балки расположены штепсельные колодки, гнезда которых соединены проводниками со щетками коллектора, что позволяет электрически соединить вращающиеся испытуемые изделия со щитом подключения.

Коллектор имеет 20 неподвижных контактных токосъемных колец (1), набранных на трубе (4) и надежно изолированных друг от друга. К токосъемным кольцам припаяны провода, которые отведены через полость неподвижной трубы. К корпусу (5) коллектора, вращающемуся вместе с балкой, прикреплен стакан (3), на котором укреплены колодки (2) со щетками, охватывающими токосъемные кольца. Щетки - латунные с серебряными контактами.

### **Рекомендуемая очередность работ при испытаниях на центрифуге**

1. Надежно закрепить агрегат - рулевую машинку и уравновесить его подборкой противовесов (или макетным изделием).
2. Подключить электрические провода к испытуемому изделию.
3. Повернуть балку (стол) центрифуги на  $360^\circ$ , убедиться в наличии зазора между выступающими частями испытуемого изделия и кожухом центрифуги.
4. Пользуясь пультом управления, включить кнопки пуска возбуждения генератора и исполнительного двигателя с регулировкой его скорости до требуемой величины; продолжительность испытания при заданной величине ускорения устанавливается для каждого изделия техническими условиями.

Например, для испытания рулевой машинки принимаются следующие режимы:

$n$  об/мин = 300, радиус вращения  $R = 0,5$  м, время  $t = 5$  мин.

5. Снижая скорость вращения, остановить двигатель и отключить установку от сети.

После испытания рулевая машинка проверяется по параметрам работоспособности.

Центрифуга должна быть закрыта защитным ограждением из толстого (18-20 мм) железа. Высота ограждения не менее 1,5 м. Пульт управления располагается на расстоянии 3-4 м от центрифуги.

К числу специальных стендов, предназначенных для созданий линейных ускорений величиной до 100 g, изменяющихся по гармоничному закону, относится центрифуга сложного вращения, изображенная на [рис.2.9](#).

Жесткая рама, представляющая собой кривошип или хобот (2) и несущая на себе нижнюю и верхнюю опоры шатуна, вращается на неподвижной колонке (4), жестко связанной с основанием установки. По верхнему и нижнему поясам хобота расположены отверстия для крепления опор шатуна при различных амплитудах. На нижней опоре шатуна расположены открытая и закрытая зубчатые передачи.

Хобот (2) получает вращение от электродвигателя через редуктор (3) с помощью пары конических шестерен (7) и вращает вокруг своей оси шатун с расположенным на нём столом (6). Вращение шатуна (1) вокруг своей оси осуществляется через систему двух пар конических шестерен (8), (9). Вращение стола (6) вокруг своей оси производится также через две пары конической передачи (10) и (11). Таким образом, испытуемое изделие (13), расположенное на столе (6), получает сложное вращение.

### **Испытания рулевых машинок на воздействие окружающих климатических условий**

Проверка работы в условиях различных температур и давлений.

Проверка работы рулевых нашивок при температуре  $+50^{\circ}\text{C}$  ( $323^{\circ}\text{K}$ ), а также сушка их после испытания при отрицательной температуре и повышенной относительной влажности может производиться в термостатах (сушильных шкафах). Предельная допустимая температура в термостате не превышает  $+80^{\circ}\text{C}$  ( $553^{\circ}\text{K}$ ). Нагревательными устройствами являются спирали из константановой проволоки.

Наибольшее же распространение для испытания рулевых машинок при различных температурах и давлениях получили термобарокамеры.

Одной из современных установок для испытания рулевых машинок в условиях как низких, так и высоких температур с одновременным понижением давления в рабочем пространстве, является термобарокамера МПС 1000У.

Низкие температуры здесь достигаются при помощи многоступенчатого, компрессорного холодильного агрегата, а высокие - с помощью электрических нагреваемых калориферов. Вакуумный агрегат, состоящий из двух вакуум-насосов, обеспечивает понижение давления в камере.

Принцип действия компрессорной холодильной установки виден на схеме ([рис.2.10](#)). Понижение температуры достигается путем дросселирования хладагента (фреон 12 или 22), который находится в постоянной циркуляции.

Так как обычный одноступенчатый холодильный агрегат не обеспечивает достаточного понижения температуры в камере, то в данной термобарокамере предусмотрен трехступенчатый агрегат, где в ступени низкого давления работают два компрессора, а в ступенях среднего и высокого давления - по одному.

Из конденсаторов (15) жидкий фреон через вентили (37), сушильные патроны (19) и жидкостный фильтр (7) попадает в автоматический впрыскивающий агрегат (4), состоящий из поплавкового вентиля высокого давления и впрыскивающих форсунок (6). На форсунках этого агрегата жидкий фреон разрежается до давления испарения, причем частично испаряется, а основное его количество охлаждается до температуры, соответствующей давлению в испарителе.

Охлажденный разреженный жидкий фреон поступает в каскадный испаритель (2), где испаряется, и компрессоры низкого давления отсасывают пары фреона через отделитель жидкости (3). Здесь захваченные частицы жидкого фреона улавливаются, в дальнейшем всасывающий фильтр (18) улавливает загрязнения.

Первое повышение давления паров осуществляется в ступени низкого давления. После выхода из компрессоров (9) пары попадают в переохладитель низкого давления (13) через маслоотделитель низкого давления (16). С помощью поплавкового масло возвратного вентиля (17) масло, собирающееся в маслоотделителе низкого давления, возвращается в картер компрессоров низкого давления, тогда как масло из переохладителя низкого давления возвращается через угловой запорный вентиль (39) в этот компрессор.

Для дальнейшего повышения давления пары фреона с помощью компрессора среднего давления (10) отсасываются через всасывающий фильтр (18). В ступени среднего давления

повторяется тот же процесс, но теперь через маслоотделитель (16), переохладитель среднего давления (14) и всасывающий фильтр (18), пары отсасываются компрессором высокого давления (ЧП) для последнего повышения давления. Затем пары фреона нагнетаются в маслоотделитель высокого давления (12). Выйдя из него пары фреона, находящиеся под высоким давлением, попадают в конденсатор, где сжижаются с помощью охлаждающей воды.

Отсюда циркуляция хладагента начинается снова. Водорегулирующий вентиль регулятора (20), в зависимости от конечного давления сжатия, автоматически регулируют поступление охлаждающей воды к конденсатору и двум переохладителям.

Рабочая камера снабжена внутренним освещением и соединительными клеммами для 32 измерительных проводов. Электрокалориферы и два датчика температуры для самописца и контактного регулятора температуры расположены под полом рабочей камеры.

Циркуляция воздуха в камере обеспечивается вентилятором, что позволяет получить равномерное распределение температур. Загрузка камеры производится через застекленную дверь; находящийся между стеклами двери воздух высушивается силикагелем.

На задней стенке камеры установлен впрыскивающий агрегат, клеммные доски для измерительных проводов, проводов соединения калориферов и другое оборудование.

В случае необходимости понизить давление в камере, желаемый вакуум достигается вакуумной установкой, состоящей из двух насосов (21). Рабочая камера установки сама по себе негерметична; для испытания изделий под вакуумом она должна быть преобразована в вакуум-котел. Для этого к лицевой стороне камеры подкатывается с помощью ходового механизма днище так, чтобы его выступ равномерно прилегал к резиновой прокладке, расположенной на торце корпуса камеры.

Все обслуживающие, записывающие и контрольные приборы размещены на передней панели электрораспределительного пульта ([рис.2.11](#)), при помощи которого можно выполнять работы вручную или автоматически.

Принцип автоматического поддержания режима работы термобарокамеры основан на воздействии контактных манометров, установленных на определенное давление, и контактных термометров, установленных на заданную температуру, с программными часами и исполнительным механизмом.

Заданный режим работы установки может выдерживаться также и с помощью ручного управления при отключенных программных часах.

### **Техническая характеристика термобарокамеры МПС 1000У**

Диапазон температуры в камере от - 70 до 100°С (от 203 до 373°К)

Максимальный вакуум 3 - 5 мм. рт. ст., (400-667 н/м<sup>2</sup>)

Емкость рабочей камеры 1000 л (1 м<sup>3</sup>)

Хладагент фреон 22, фреон (12)

Время, необходимое для получения максимального вакуума 30 мин.

Скорость изменения температуры:

при нагреве 2 град/мин

при охлаждении 0,5 град/мин

Точность поддержания температуры в камере 1,5 - 2°.

### **Порядок испытания рулевых машинок при различных температурах и пониженном давлении**

1. Испытание при повышенной температуре. Рулевая машинка выдерживается при температуре

$t = +50^{\circ}\text{C}$  в течение 4-х часов.

После чего производится проверка параметров работоспособности.

2. Испытание при пониженной температуре. Рулевая машинка выдерживается при температуре

$t = -50^{\circ}\text{C}$  в течение 4-х часов.

Затем 30 мин она работает на холостом ходу: производится ее самопрогрев. После этого производится проверка параметров работоспособности рулевой машинки при различных командных токах.

3. Испытание при пониженном давлении. Рулевая машинка выдерживается в вакууме  $p = 2$  мм рт. ст. в течение 1 часа. Затем производится осмотр на выявление негерметичности и проверка параметров.

### **Испытание сыростойкости рулевых машинок**

Эти испытания также входят в программу типовых испытаний. При испытаниях на сыростойкость обычно оперируют величиной относительной влажности ( $r_e$ ), т.е. отношением упругости ( $e$ ) водяного пара, находящегося во влажном воздухе при атмосферном давлении ( $p$ ) и температуре  $t^{\circ}\text{C}$ , к упругости  $E$  насыщенного водяного пара при тех же значениях атмосферного давления и температуры:

$$r_e = \frac{e}{E} 100\% \quad (12)$$

Как известно, водяной пар, содержащийся в воздухе, можно считать насыщенным, если он находится в динамическом равновесии с плоской поверхностью чистой воды или льда, находящихся при той же температуре и давлении. О степени насыщения воздуха водяным паром можно судить по ТОЧКЕ РОСЫ, т.е. температуре, до которой необходимо охладить воздух, не меняя влагосодержания, чтобы он достиг состояния насыщения.

При оценке влагостойкости основной целью испытания является проверка степени влияния влажной среды, окружающей изделие, на величину электрического сопротивления изоляции и качество покрытий деталей. Для чего испытываемая рулевая машинка помещается в камеру с относительной влажностью до 95-100%, где выдерживается при заданной техническими условиями температуре определенное время (не менее 48 часов).

Затем, не позднее, чем через 3 мин после извлечения машинки из камеры, проверяется электросопротивление изоляции и внешний вид деталей, которые не должны иметь следов коррозии.

После проверки сыростойкости изделие должно быть просушено в термостате при температуре  $60-80^{\circ}\text{C}$  ( $333-353^{\circ}\text{K}$ ). Испытание сыростойкости изделий может производиться в сравнительно простых установках - камерах влажности.

### **Камера тепла и влаги ТВК-2**

#### **Техническая характеристика**

Объем рабочей камеры 240 л ( $0,24 \text{ м}^3$ )

Пределы температуры от  $+20 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $293 \pm 5^{\circ}\text{K}$ ) до  $+1000 \pm 2^{\circ}\text{C}$  ( $373 \pm 2^{\circ}\text{K}$ )

Пределы относительной влажности от 65% до 98% ( при  $t = +20^{\circ}\text{C} - +60^{\circ}\text{C}$ ).

Напряжение, подаваемое на испытываемые изделия:

в режиме тепла до 1000 в

в режиме влажности до 600 в

Мощность, потребляемая установкой 4 кВт.



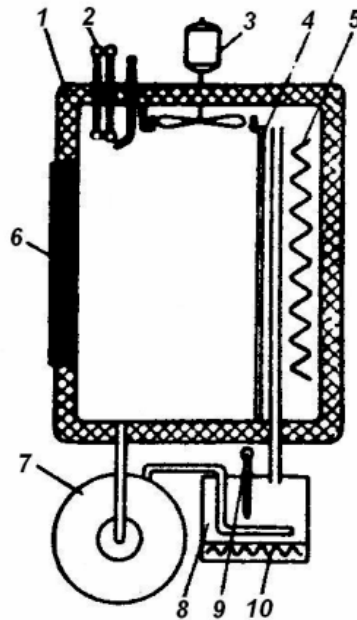


Рис. 2.12. Схема камеры тепла и влаги

### Испытание на воздействие ускорений, возникающих при транспортировке

Для испытания рулевой машинки на воздействие ускорений, возникающих при транспортировке в кузовах грузовых автомашин, движущихся по грунтовым, булыжным или асфальтовым дорогам с различной скоростью, служат установки, имитирующие подобные ускорения.

Рабочему столу установки (рис.2.13) с помощью кулачков сообщается периодическое скачкообразное движение. Грузоподъемность установки составляет не менее 100 кг. Размеры рабочего стола ~1500x1000 мм. Он получает вибрационные и ударные ускорения величиной до 50g.

Транспортные испытания определяются видом дороги и видом транспорта. Рулевая машинка не должна терять своей работоспособности при следующих условиях транспортировки: автомобильным транспортом по грунтовой дороге со скоростью 20 км/час на расстояние до 500 км; автомобильным транспортом по шоссе с скоростью 40 км/час - до 1000 км; железнодорожным транспортом со скоростью 60 км/час - до 10000 км; воздушным транспортом - неограниченно.

После проведения типовых и транспортных испытаний рулевая машинка разбирается. Все детали подвергаются тщательному осмотру с целью выявления возможных дефектов: трещин, износа, разрушения и т.п. Затем производится анализ причин выявленных дефектов, на основании чего даются рекомендации по усовершенствованию конструкции деталей и узлов рулевой машинки или изменению технологического процесса изготовления деталей и сборки.

### Ресурсные, испытания рулевых машинок

Этим испытаниям подвергаются только отдельные экземпляры рулевых машинок по назначению главного конструктора и заказчика. Ресурсные испытания заключаются в работе рулевой машинки по определенному циклу, число которых устанавливается в программе испытаний. Например, рулевая машинка работает 20 мин, причем 15 минут - на холостом ходу, а последние 5 минут - с подачей команд.

Через каждые 20 циклов производится проверка параметров работоспособности. Время испытания определяется заданным ресурсом. После проведения ресурсных испытаний

рулевые машинки полностью разбираются и анализируются возможные изменения конструкции. По всем видам испытаний серийных рулевых машинок оформляются протоколы, которые заносятся в паспорт.

После проведения испытаний годные рулевые машинки красятся, упаковываются и подаются на склад готовых изделий.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барвинок, В.А. Сборочные, монтажные и испытательные процессы в производстве летательных аппаратов: учебник для высших технических учебных заведений / В.А. Барвинок и [и др.]. – М.: Машиностроение, 1996.- 576 с.
2. Буловский, П.И. Испытания авиационных приборов / П.И. Буловский, Э.М. Идельсон. - М.: Машиностроение, 1966 .- 371 с.
3. Феодосьев, В.И. Введение в ракетную технику / В.И. Феодосьев, Г.Б. Синярев. - М.: ГНТИ, Оборонгиз, 1960.- 456 с.