

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

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

А. С. ГОРЯЧЕВ

КОНТРОЛЬ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
АГРЕГАТОВ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Учебное пособие

Контроль геометрических параметров агрегатов летательных аппаратов: Учеб. пособие / А. С. Горячев; Куйб. авиац. ин-т. Куйбышев, 1989. — 84 с.

В пособии рассмотрены методы и средства контроля геометрических параметров агрегатов для различных типов и размеров летательных аппаратов. Обобщен опыт производства по процессам контроля при сборке изделий. Приведены данные по применению специальных контрольных стендов, а также оптических приборов и перспективных лазерно-центрирующих измерительных систем.

Пособие предназначено для студентов дневного и вечернего обучения факультета летательных аппаратов, слушателей ФПК ЦПР и может быть полезно для инженерно-технических работников авиационной промышленности.

Табл. 11. Ил. 46. Библиогр.: 18 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета института

Под редакцией В. А. Барвинка

Рецензенты: А. И. Панченков, П. К. Штеклейн

ВВЕДЕНИЕ

XXVII съезд КПСС поставил важнейшую задачу по повышению качества продукции до уровня требований мировых стандартов. С этой целью на предприятиях вводится государственная приемка, определяющая действительное качество продукции. Особенно большое внимание уделяется методам и средствам контроля качества изделий.

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. Все эти конструктивные особенности накладывают свой отпечаток на содержание и характер технологических процессов и способов контроля в производстве ЛА.

Поворотным этапом в развитии современного производства ЛА является создание крупногабаритных изделий, ознаменовавших собой новый конструктивно-технологический подход в решении традиционных задач повышения надежности и ресурса изделий. Среди этих задач важное место занимает широкое применение на всех этапах производства бесконтактного контроля параметров изделий и координации размеров с помощью оптических и лазерно-центрирующих средств. Из контролируемых параметров, определяющих качество ЛА, наибольший объем операций падает на геометрические параметры, обеспечивающие взаимозаменяемость конструктивных элементов и его аэродинамические формы.

Высокие скорости полета ЛА при условии обеспечения устойчивости и управляемости предопределяют особые требования к точности изготовления как отдельных агрегатов, так и всего изделия в целом.

Известно, что отклонения геометрических параметров изделий от теоретически рассчитанных значений очень сильно влия-

ют на надежность и качество выполнения стоящей перед летательным аппаратом задачи. Всякое отклонение любого параметра от номинального значения вызывает нежелательные отклонения ЛА от теоретически рассчитанной траектории, что, в свою очередь, вызывает такие последствия:

снижение надежности выполнения летательным аппаратом стоящей перед ним задачи,

увеличение массы конструкции ЛА,

увеличение расхода топлива на корректировку траектории.

Иначе говоря, погрешности изготовления ЛА означают: с точки зрения экономичности — лишние затраты труда, материалов, компонентов топлива, удорожание обслуживающей техники и затрат на эксплуатацию и т. д.; с точки зрения инженерной — снижение эффективности ЛА и даже невыполнение им поставленной задачи.

Современная технология изготовления ЛА не может обеспечить изготовление изделий в точном соответствии с теоретическими расчетами и чертежами. Реальное изделие всегда имеет какие-то параметры, отличные от номинальных. Влияние погрешностей изготовления на качество выполнения летательным аппаратом стоящей перед ним задачи можно уменьшить или даже свести на нет. Этого можно достигнуть несколькими способами: исправлением погрешностей; введением сведений о погрешностях в систему управления летательного аппарата; подбором элементов, составляющих летательный аппарат таким образом, чтобы они компенсировали погрешности изготовления друг у друга.

Рассмотрение этих способов, являясь само по себе очень интересным и нужным, не является задачей данного пособия. Для нас важно другое — каждый из этих способов требует предварительного знания величин погрешностей. Для этого после изготовления ЛА и в процессе его изготовления проводится контроль его геометрических параметров.

Надежный и объективный контроль на всех технологических этапах изготовления ЛА является необходимым условием для обеспечения качества и взаимозаменяемости.

Для определения действительной точности отдельных агрегатов и всего изделия в производстве летательных аппаратов широко применяются разнообразные процессы контроля геометрических параметров.

Методы и средства контроля зависят от требований точности, формы агрегата, вида узлов разъема (стыка), а также от размеров изделий.

В данном пособии мы рассмотрим процессы контроля геометрических параметров изделий различных габаритов, имеющих

в основном фланцевые разъемы как наиболее распространенные в конструкциях летательных аппаратов.

Так как в пособии показаны методы и средства контроля применительно к различным группам агрегатов, различающихся размерами, то условно разделим их:

на крупногабаритные $D \times L = \text{св. } 3 \text{ м} \times \text{св. } 30 \text{ м}$,

средние $D \times L = (1 \dots 3) \text{ м} \times (10 \dots 30) \text{ м}$,

малогогабаритные $D \times L = \text{до } 1 \text{ м} \times \text{до } 10 \text{ м}$,

где D — диаметр (поперечный размер) агрегата, L — длина агрегата.

В связи с тем, что методы контроля геометрических параметров агрегатов летательных аппаратов малых и средних габаритов в определенной мере освещены в технической литературе по технологии самолетостроения [2, 3, 4, 5, 7, 11, 15, 16], то мы более подробно ознакомимся с процессами контроля крупногабаритных изделий, а затем покажем особенности контроля изделий средних и малых размеров.

1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ И ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Прежде чем рассматривать конкретные методы и средства обмера, покажем основные параметры агрегата (секции) изделия.

Как видно из рис. 1, части крупногабаритных изделий пред-

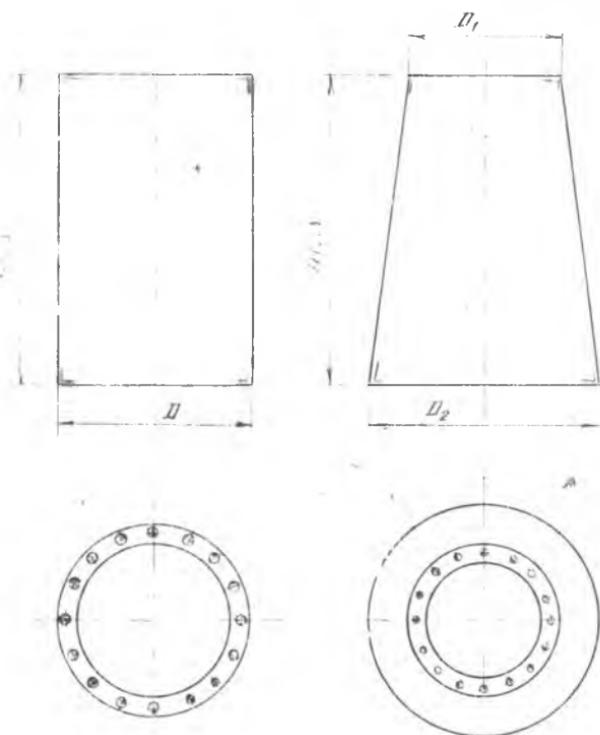


Рис. 1. Агрегаты (отески, секции) крупногабаритных изделий

ставляют из себя цилиндрические и конические агрегаты (секции) с фланцевыми узлами разъема (стыка).

Точность размеров, формы и расположения агрегатов (секций) берется относительно теоретических осей или главных конструкторских баз изделия.

Главные конструкторские базы изделия (летательного аппарата) — это оси прямоугольной системы, состоящие из теоретической продольной оси и двух взаимно перпендикулярных поперечных осей.

Эти оси обычно воспроизводятся с заданной точностью реперными знаками (точками) в виде следов или отверстий на наружной поверхности изделия в базовых и контролируемых сечениях.

Основными геометрическими параметрами агрегатов летательного аппарата с фланцевым стыковым узлом являются — длина агрегата L , высота H , диаметр агрегата D , точность контура (обвода) агрегата, плоскостность стыка, горизонтальность или вертикальность стыка (параллельность), точность контура в месте стыка, расположение стыковочных отверстий, эксцентриситет стыковых узлов, закрутка стыковых узлов и др.

Контроль крупногабаритных жестких узлов и агрегатов осуществляется в сборочных или контрольных стапелях-стендах. Узлы и агрегаты представляют собой тела вращения цилиндрической или конической формы, ограниченные плоскостями разъемов, по которым производится сопряжение стыкуемых узлов.

По положению агрегатов в стапеле, последние делятся на горизонтальные и вертикальные, что соответственно и определяет схемы и методы измерения.

Основными узлами контрольных стапелей (стендов) являются параллельные плиты, расположенные в вертикальной или горизонтальной плоскостях. Плиты могут быть стационарные, подвижные и поворотные. Они служат для пристыковки агрегата по плоскостям разъемов и ориентации его оси относительно конструктивных баз стапеля.

Рассмотрим методы и средства контроля агрегатов (изделий) с вертикальным расположением оси.

При вертикальном расположении изделия необходимо контролировать следующие геометрические параметры:

неплоскостность верхнего сечения агрегата,

непараллельность плоскостей верхнего и нижнего сечений агрегата,

эксцентриситет геометрического центра верхнего сечения агрегата относительно геометрического центра нижнего сечения при закрепленном неподвижно базовом сечении,

закрутка по углу верхнего и нижнего сечений агрегата друг к другу.

За базовую плоскость принимается плоскость нижнего торцевого шпангоута агрегата. Базовой продольной осью изделия является перпендикуляр, восстановленный из геометрического центра окружности расположения центров стыковочных отверстий шпангоута, принятого за базу. При контроле секций и агрегатов верхний шпангоут освобождается от базирующих шпильек и болтов и стоит на базовой плоскости с закрепленным нижним шпангоутом, имитирующим стыковку агрегатов. Сборочные (контрольные) стапели или специальные контрольные стенды должны удовлетворять определенным требованиям:

установка базовой плоскости стапеля в горизонт должна быть с погрешностью не более $\pm 0,5$ мм,

возможность свободного просмотра агрегата или секции по поперечным строительным плоскостям и по плоскости базового шпангоута,

возможность размещения оператора на уровне верхнего сечения агрегата и передвижения его вокруг верхнего шпангоута для монтажа оснастки,

наличие реперных знаков в определенных поперечных строительных плоскостях.

непараллельность верхней плиты относительно нижней базовой плоскости не должна превышать $\pm 0,5$ мм,

погрешность центрирования изделия на поворотном столе не должна превышать $\pm 0,2$ мм.

1.1. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕПЛОСКОСТНОСТИ И НЕПАРАЛЛЕЛЬНОСТИ ПРИВАЛОЧНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ АГРЕГАТА ПО ПРЕВЫШЕНИЮ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ТОЧЕК

Вначале рассмотрим условия и средства контроля плоскостности и точности расположения привалочных (торцевых стыковочных) плоскостей агрегатов при различном номинальном положении (горизонтальном или вертикальном).

При сборке крупногабаритных изделий предпочтительнее горизонтальное расположение стыковочных и базовых поверхностей поперечных стыков. При этом конструкция меньше подвержена влиянию деформаций под действием собственной массы.

В зависимости от размеров изделия применяются следующие способы измерения превышения точек плоскости: для диаметров свыше 5 метров — с помощью гидростатического уровня, нивелира и отвеса со шкалой; для диаметров меньше 5 метров — от материальной базы стенда.

Наиболее точным является метод измерения положения точек поверхности с помощью гидростатического уровня УГС-1 завода «Калибр». При надлежащей юстировке гидростатический уро-

вень позволяет оценить превышение одной точки над другой с точностью не ниже 0,01 мм.

При достаточно широких допусках может быть применен прецизионный нивелир типа НА-3 завода «Арсенал» (точность 0,2—0,3 мм). Ниже приводятся конструкция и технические характеристики указанных приборов.

Закрытый гидростатический уровень УГС-1.

УГС-1 (рис. 2) предназначен для определения превышения точек. Основан на принципе сообщающихся сосудов [12]. Прибор состоит из двух измерительных головок 3, соединенных воздушным 7 и водяным 8 шлангами. Измерительная головка состоит из герметичного корпуса 4 с окном, который заполняется чистой водой 6. Уровень воды в сосуде измеряется с помощью микрометрического винта 1, заканчивающегося острым

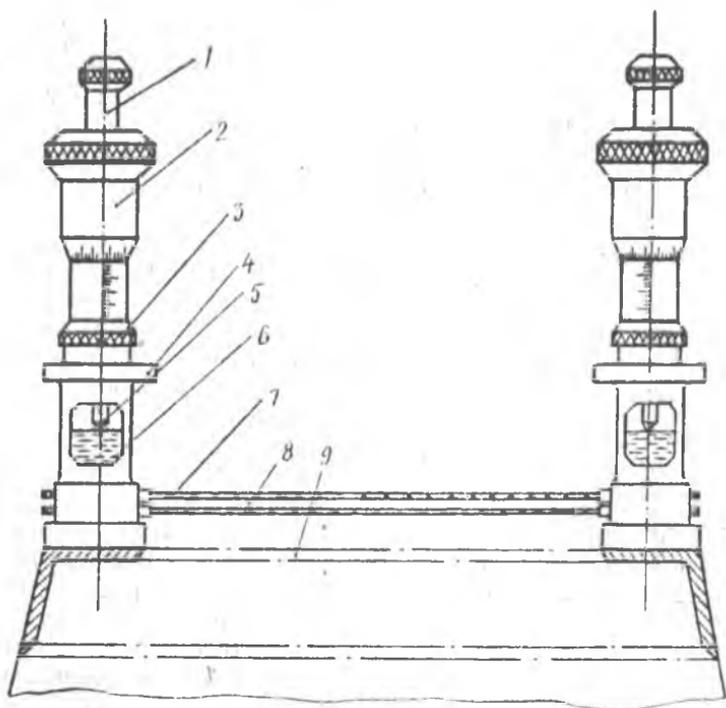


Рис. 2. Закрытый гидростатический уровень УГС-1: 1 — микрометрический винт, 2 — барабан микровинта, 3 — измерительная головка, 4 — корпус, 5 — наконечник, 6 — вода, 7 — шланг воздушный, 8 — шланг гидравлический, 9 — измеряемое изделие

наконечником 5. Наведение производится по мениску, образуемому при соприкосновении измерительного наконечника с поверхностью воды, отсчет по барабану микровинта 2.

Превышение точек измерительной плоскости определяется разностью глубин жидкости в двух измерительных головках.

Технические характеристики
прибора:

Цена деления	0,01 мм
Пределы измерительных отклонений	± 5 мм
Измеряемая длина	до 20 м
Погрешность прибора	$\pm 0,01$ мм
Масса головки	3 кг

Перед операцией контроля гидростатический уровень подготавливается к работе: собираются измерительные головки, соединяются водяными и воздушными шлангами. Вся водяная система заполняется чистой водой, удаляются воздушные пузыри и пробки в полостях шлангов. Затем одна измерительная головка устанавливается на плоскости верхнего шпангоута 9 неподвижно, а вторая головка переставляется по проверяемой поверхности и последовательно устанавливается в местах, по которым производится измерение неплоскостности и непараллельности. При каждой установке измеряется глубина уровня воды одновременно в двух измерительных головках, и по раз-

ности глубин показаний неподвижной и переставляемой головок определяется положение каждого места установки подвижной измерительной головки относительно горизонтальной плоскости, расположенной на уровне установки неподвижной измерительной головки.

Замер превышений контролируемых точек с помощью нивелира и отвеса производится следующим образом (рис. 3). С плоскости верхнего шпангоута 1 опускается отвес 2 со шкалой 3. Нивелиром 4, размещенным в середине изделия 5, установленным на базовой плите 6, снимается отсчет по шкале отвеса. Затем отвес переставляется по плоскости шпангоута и с помощью нивелира отсчитывается изменение

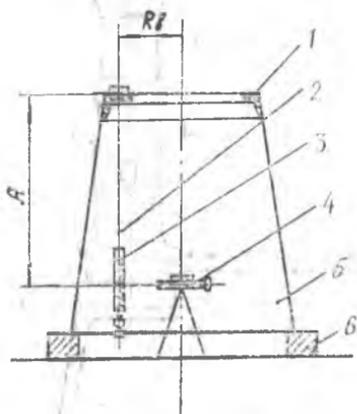


Рис. 3. Схема замера превышения контролируемых точек с помощью нивелира и отвеса: 1 — плоскость верхнего шпангоута, 2 — отвес, 3 — шкала, 4 — нивелир, 5 — контролируемое изделие, 6 — кольцо опорное

размера ΔA , по которому определяется неплоскостность и непараллельность верхнего и нижнего шпангоутов.

Замер превышений контролируемых точек от материальной базы станда

Сборочные станды (рис. 4) могут иметь верхнюю жесткую плиту 1, выставленную в горизонт параллельно нижней базовой плоскости 4 станда. В этом случае контроль непараллельности и неплоскостности шпангоутов изделия 3 производится замером расстояний от плиты до поверхности верхнего шпангоута 2 в контролируемых точках (h_1, h_2, \dots, h_n). Разность между замером первоначальной точки и последующих даст положение всех точек относительно горизонтальной плоскости, проходящей через первую точку. Замер расстояний (h_1, h_2, \dots, h_n)

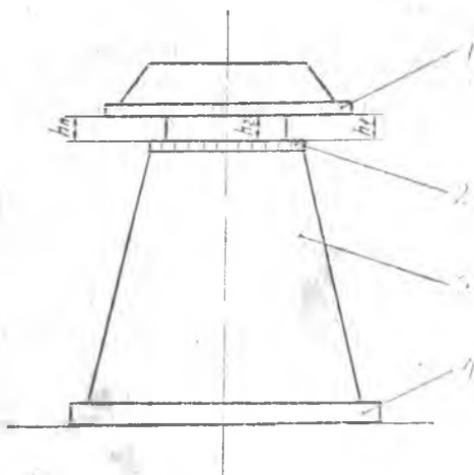


Рис. 1. Схема замера превышения контролируемых точек от материальной базы станда: 1 — верхняя плита станда, 2 — верхний шпангоут, 3 — контролируемое изделие (агрегат), 4 — нижняя плита станда

можно выполнять штихмассом или приспособлением типа индикаторного нутрометра.

Прецизионный нивелир НА-3

Нивелир предназначен для замера превышения точек. Превышение точек определяется с помощью специальных нивелировочных линеек или целевых знаков.

Технические характеристики нивелира НА-3:

Увеличение трубы	44-кратное;
Увеличение окуляра	27-кратное;
Разрешающая сила трубы	3";
Общее фокусное расстояние объектива	411 мм;
Предел визирования	от 3,6 м до бесконечности;
Цена деления цилиндрического уровня	4" на 0,8 мм;
Увеличение изображения пузырька уровня	2,5-кратное;
Цена деления крестообразного уровня	2" на 0,8 мм;
Нормальное расстояние нивелирования	5—6,5 м;

Ошибка при измерении превышения при двойном нивелировании на 1 км	$\pm 0,3$ мм;
Длина трубы с насадкой	433 мм;
Высота инструмента с выдвинутыми нож- ками	200 мм;
Масса инструмента	6,2 кг

Описание конструкции нивелира НА-3

Труба 1 прецизионного нивелира НА-3 вращается на цилиндрической оси, неподвижно укрепленной на треножнике 6 с тремя подъемными винтами 7 (рис. 5). Подъемные винты имеют спе-

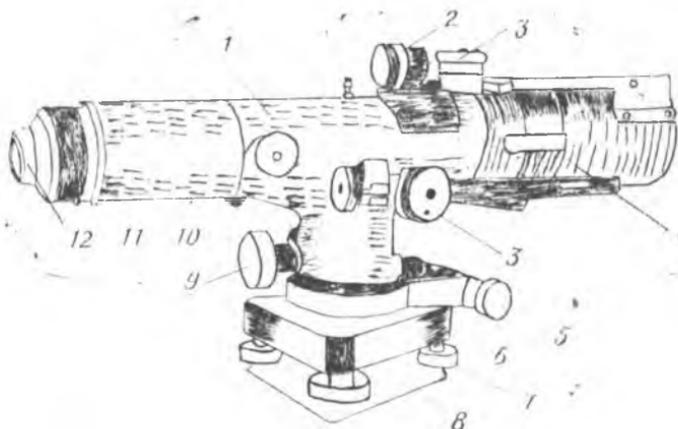


Рис. 5. Нивелир НА-3: 1 — труба, 2 — луна, 3 — барабанчик, 4 — объектив, 5 — винт наводящий, 6 — треножник, 7 — винт, 8 — пластина, 9 — винт элевационный, 10 — труба с головкой, 11 — муфта, 12 — объектив

циальную проточку для опоры пружинящей пластины 8, в центральной части которой укреплен втулка с нарезкой для крепления станового винта. Труба на треножнике удерживается фиксатором, который крепится к корпусу наводящего винта. Грубая установка трубы в горизонтальное положение производится по крестообразным уровням винтами 7.

Точная установка трубы по горизонту осуществляется цилиндрическим уровнем с помощью элевационного винта 9, обеспечивающего наклон трубы вокруг горизонтальной оси.

Труба состоит из наружного тройника и внутренней основной трубы, в утолщенную часть которой ввинчивается объектив 4, с другой стороны — сеточная часть и окуляр 12. Тройник и окуляр соединены муфтой 11, которая компенсирует разность линейного расширения тройника и трубы. К средней части основной трубы крепится цилиндрический уровень с призмным блоком для передачи изображения пузырька уровня в поле зре-

ния трубы. Внутри основной трубы передвигается фокусирующая линза при помощи трубки с головкой 10, укрепленной на тройнике.

Для грубой наводки на целевой знак на тройнике установлен целик, а на утолщенной части трубы — мушка.

Для точной наводки в горизонтальной плоскости служит наводящий винт 5.

Для точной работы на объективную часть трубы надета насадка с двумя плоскопараллельными пластинами. Смещение линии визирования в вертикальной и горизонтальной плоскостях измеряют вращением барабанчиков 3. Отсчет ведут по шкалам, нанесенным на барабанчиках, при помощи лупы 2. Шкалы барабанчиков разделены на 100 делений. Смещение визирной оси на одно деление барабанчика равно 0,05 мм. Оптическая схема нивелира показана на рис. 6.

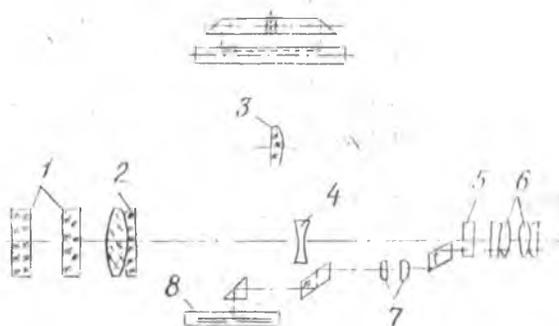


Рис. 6. Оптическая схема нивелира ИА-3: 1 — плоскопараллельные пластинки, 2 — объектив, 3 — линза для наблюдения делений барабанчика, 4 — фокусирующая линза, 5 — сетка, 6 — окуляр, 7 — микроскоп, 8 — уровень

Рассмотрим более подробно методы измерения плоскостей разреза в горизонтальном положении. В результате измерений, проведенных любым из трех методов (гидростатическими головками, нивелиром, от материальной базы стенда), получаем превышения контролируемых точек шпангоута относительно горизонтальной плоскости, проходящей через первоначальную точку этого шпангоута. Для определения неплоскостности и непараллельности проверяемого шпангоута необходимо провести последующую обработку результатов измерения.

По определению ГОСТ 10356—63 — НЕПЛОСКОСТНОСТЬ (отклонение от плоскостности) — наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости. НЕПА-

ПАРАЛЛЕЛЬНОСТЬ (отклонение от параллельности) плоскостей — разность наибольшего и наименьшего расстояния между прилегающими плоскостями на заданной площади или длине. **ПОЛОЖЕНИЕ ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ПЛОСКОСТИ** определяется тремя наиболее выступающими точками реальной верхней поверхности шпангоута. Эти точки должны располагаться на торцевой поверхности таким образом, чтобы ось изделия проходила внутри треугольника, вершинами которого являются указанные точки.

Обработка результатов измерений сводится к определению трех наиболее выступающих точек, через которые пройдет прилегающая плоскость, к вычислению угла между прилегающей плоскостью и горизонтальной, при условии установки нижнего базового торца в горизонт. Этот угол и характеризует непараллельность привалочных плоскостей по торцам. Затем определяют ее расположение относительно определенных поперечных базовых плоскостей и неплоскостность как расстояние от каждой точки реальной поверхности до прилегающей плоскости.

Существуют три метода определения неплоскостности и непараллельности по результатам замеров: графический, графоаналитический, с помощью макета. Рассмотрим их сущность.

1.1.1. Графический метод

Графический метод определения непараллельности и неплоскостности сводится к отысканию в проекциях на вертикальные плоскости трех точек поверхности, определяющих прилегающую плоскость. Вначале плоскость развѐма делится на определенное число зон по точкам через 20° (рис. 7). После снятия замеров определяются превышения измеренных точек шпангоута относительно первоначальной точки (с наименьшей координатой — начало отсчета). Пример цифровых данных приведен в табл. 1. Затем строится проекция торца отсека на вертикаль-

Таблица 1

№ п/п точек	Превышение точек h_i , мм	№ п/п точек	Превышение точек h_i , мм
1	0,0	10	+0,3
2	+1,3	11	-2,0
3	+2,8	12	-2,5
4	+3,6	13	-3,2
5	+3,8	14	-3,4
6	+4,2	15	-3,7
7	+3,5	16	-3,4
8	+2,0	17	-3,0
9	+1,6	18	-2,0

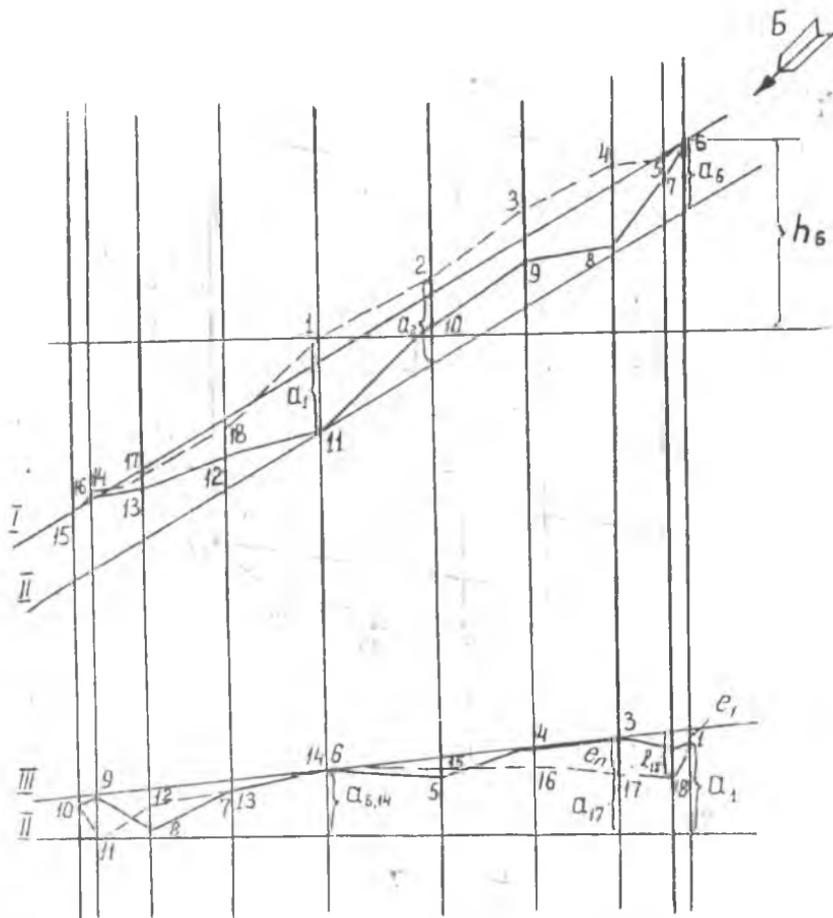


Рис. 8. Графический метод определения неплоскостности и непараллельности плоскостей разбема

водилась прямая *I*. первого графика, будут совмещены. Через них и наиболее выступающую точку *З* второго графика проводится прямая *III*. Три точки поверхности торца отсека, лежащие на этой прямой *III*, и являются теми наиболее выступающими точками, на которые ложится прилегающая плоскость. Для проверки правильности полученных точек на окружности (вид торца отсека сверху) эти три точки соединяются прямыми. При этом центр окружности должен располагаться внутри полученного треугольника. Величина неплоскостности e_i каждой точки снимается непосредственно со второго графика, так как расстояния точек от прямой *III* являются неплоскостностью дан-

ной точки в том масштабе, в каком откладывались отклонения.

Отрезки e_i , расположенные ниже прямой III, имеют знак «—», выше — знак «+». При правильном выборе трех наиболее выступающих точек, определяющих положение прилегающей плоскости, все e_i должны быть отрицательными. После определения неплоскостности каждой точки величина непараллельности по строительным поперечным плоскостям определяется по формулам:

$$\begin{aligned}(h_I - e_I) - (h_{III} - e_{III}) &= \sigma_{n(I-III)}, \\ (h_{II} - e_{II}) - (h_{IV} - e_{IV}) &= \sigma_{n(II-IV)},\end{aligned}$$

величины h и e берутся с учетом знака. Угловая величина непараллельности по этим плоскостям будет:

$$\operatorname{tg} \eta_{I-III} = \frac{z_{n(I-III)}}{D_B}, \quad \operatorname{tg} \eta_{II-IV} = \frac{z_{n(II-IV)}}{D_B},$$

где D_B — диаметр верхнего шпангоута отсека (секции).

Наибольшая непараллельность в линейных величинах

$$\sigma_{B \max} = \sqrt{\sigma_{nI-III}^2 + \sigma_{nII-IV}^2}.$$

Наибольшая непараллельность прилегающей плоскости

$$\operatorname{tg} \eta_{np} = \sqrt{\operatorname{tg}^2 \eta_{I-III} + \operatorname{tg}^2 \eta_{II-IV}} = \frac{1}{D_B} \sqrt{\sigma_{n(I-III)}^2 + \sigma_{n(II-IV)}^2}.$$

Положение наибольшей непараллельности относительно первой поперечной строительной плоскости

$$\operatorname{tg} \Theta_{\max} = \frac{\operatorname{tg} \eta_{II-IV}}{\operatorname{tg} \eta_{I-III}} = \frac{\sigma_{n(II-IV)}}{\sigma_{n(I-III)}}.$$

Ниже приводится пример графического метода определения неплоскостности и непараллельности торца по замерам точек через 20° .

Наибольшее превышение от первоначальной точки имеет 6-я точка (+4,2 мм). На рис. 7 (вид сверху) изображена торцевая поверхность шпангоута с указанием точек, в которых снимались размеры.

Чтобы шестая точка оказалась с краю, нужно строить проекцию торца отсека на вертикальную плоскость — вид по стрелке А.

На рис. 8 показан первый график, где по горизонтальной прямой отложены проекции измеряемых точек на диаметр, а по вертикалям — превышения соответствующих точек.

Прямая I проходит через точки 6 и 14, прямая II — параллельно I через точку 11. Второй график (рис. 8) — проекция

торца на плоскость, перпендикулярную прямым *I* и *II* (вид по стрелке Б, см. рис. 7).

На горизонтальной прямой *II* отложены проекции измеряемых точек на диаметр перпендикулярно линии *б—14*. По вертикалям — расстояние «а» от прямой *II* на первом графике *1* до соответствующей точки. Точки *б, 14* на этом графике совмещены. Прямая *III* проходит через точки *б, 14* и *З*. Расстояние «е» от этой прямой до каждой точки — величина неплоскостности данных точек, приведена в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п точек	Отклонение от прилегающей плоскости, e_i , мм	№ п/п точек	Отклонение от прилегающей плоскости, e_i , мм
1	-0,29	10	-0,17
2	-0,30	11	-1,10
3	-0,00	12	-0,42
4	-0,07	13	-0,30
5	-0,40	14	-0,00
6	-0,00	15	-0,21
7	-0,30	16	-0,42
8	-0,90	17	-0,82
9	-0,12	18	-0,96

Непараллельность по строительным поперечным плоскостям будет:

$$\sigma_{н(I-III)} = (h_1 - e_1) - (h_{10} - e_{10}) = -0,18 \text{ мм};$$

$$\sigma_{н(II-IV)} = (h_{14} - e_{14}) - (h_0 - e_0) = -7,6 \text{ мм}.$$

Наибольшая непараллельность: $\sigma_{н \max} = 7,602 \text{ мм}$.

Положение наибольшей непараллельности относительно первой строительной плоскости $\text{tg } \Theta_{\max} = 42,22$ и $\Theta_{\max} = 88^\circ 40'$.

1.1.2. Графоаналитический метод

Графический метод определения непараллельности и неплоскостности имеет погрешности за счет ошибок построения и снятия отсчетов с графика. Расчетный метод исключает эти погрешности. Суть графоаналитического метода заключается в следующем.

Вначале плоскость развѣма делится на определенное число зон по точкам через 20° . Затем одним из указанных выше способов производится замер превышения точек по каждой зоне. Замер начинать с зоны, расположенной у первой строительной плоскости, и вести по ходу строительных плоскостей по II, III и IV. Пример цифровых данных приведен в табл. 1.

Далее в полярной системе координат строится график снятых замеров (рис. 9). Отклонения положения точек зон откладываются на направлениях радиусов: положительные — от окружности наружу, отрицательные — внутрь.

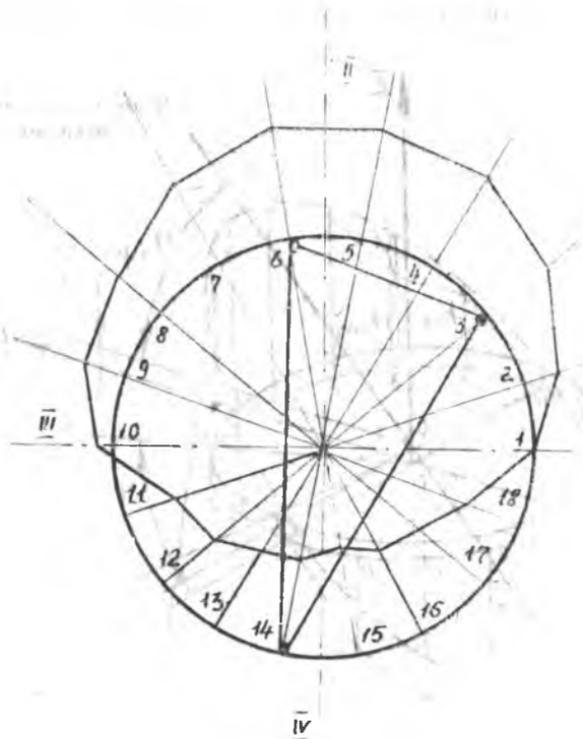


Рис. 9. Графоаналитический метод определения неплоскостности и непараллельности плоскостей развѣма

Затем из графика выбираются три наиболее выступающих точки. Для этого окружность разбивают на 6 областей: в каждую область входит по три зоны. Начало отсчета зон от I строительной плоскости. Три зоны, взятые через одну, объединяются в совокупность. В каждой зоне выбирается наиболее выступающая точка. Затем сопоставляются выступающие точки одной

и другой совокупности и определяются три наиболее выступающие точки ($a, b, c, 3, 6, 14$), через которые пройдет прилегающая плоскость.

Выбранные на окружности точки соединяются прямыми линиями, при этом центр окружности должен располагаться внутри полученного треугольника.

Дальнейший расчет идет в следующем порядке.

1. Определяются координаты контролируемых точек при следующей системе координат (рис. 10): ось z перпендикулярна к номинальному положению плоскости и проходит через центр. Ось x лежит в плоскости, перпендикулярной оси oz , проходящей через первую точку. Ось oy перпендикулярна оси ox .

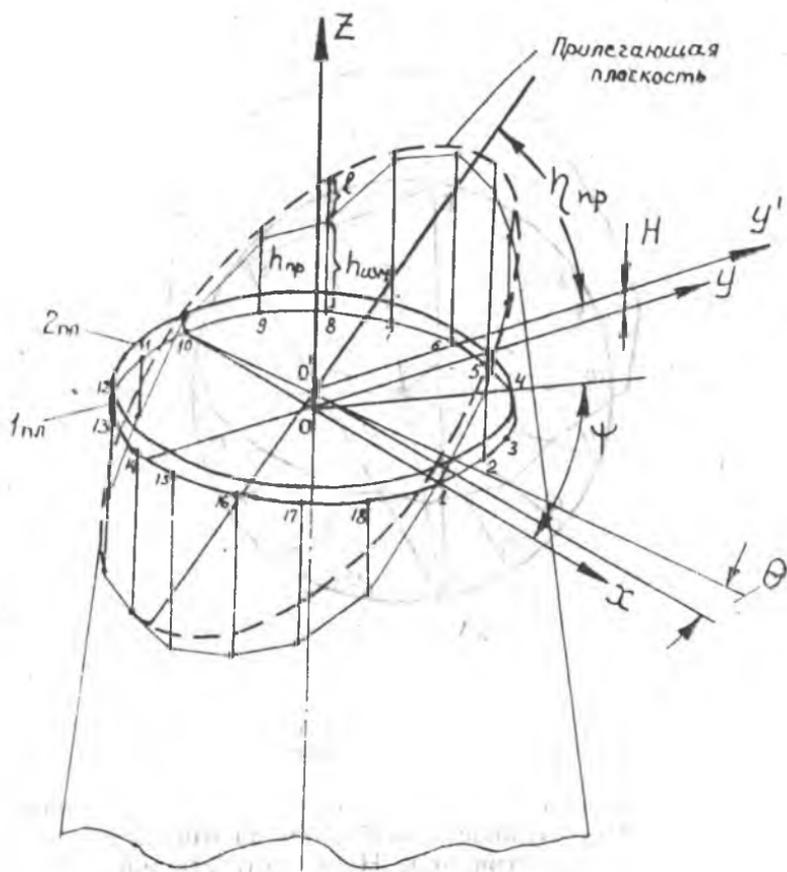


Рис. 10. Графоаналитический метод определения непараллельности и непараллельности плоскостей разрезов

Координаты точек в этой системе связаны зависимостями:

$$z = h; \quad x = r \cdot \cos \psi; \quad y = r \cdot \sin \psi,$$

где h — превышения точек, взятые из табл. 1, r — радиус расположения измеряемой точки. ψ — угол расположения измеряемой точки от оси.

Величины координат контролируемых точек заносятся в табл. 3.

Таблица 3

Точка «а»	Точка «б»	Точка «с»
$x_1 =$	$x_2 =$	$x_3 =$
$y_1 =$	$y_2 =$	$y_3 =$
$z_1 =$	$z_2 =$	$z_3 =$

2. Для уравнения прилегающей плоскости, имеющей вид

$$Ax + By + Cz + D = 0,$$

определить коэффициенты по формулам:

$$A = (y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (y_3 - y_1)(z_2 - z_1);$$

$$B = (z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1);$$

$$C = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1);$$

$$D = Ax_1 + By_1 + Cz_1.$$

3. Вычислить угол между горизонтальной плоскостью и прилегающей $\eta_{\text{пр}}$ (угол непараллельности):

$$\text{tg } \eta_{\text{пр}} = \frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{C}.$$

Непараллельность в линейных величинах σ_n определяется так:

$$\sigma_n = D_B \cdot \text{tg } \eta_{\text{пр}},$$

где σ_n — величина непараллельности, D_B — диаметр контролируемой поверхности.

4. Определить расстояние H от плоскости xoy до горизонтальной плоскости Π , пересекающей ось oz в точке пересечения прилегающей плоскости: $H = -(D/C)$.

5. Вычислить угол Θ между осью ox и следом пересечения прилегающей плоскости и горизонтальной плоскости Π :

$$\text{tg } \Theta = -(A/B).$$

6. Определить ординаты точек h_{np} прилегающей плоскости, расположенных на окружности радиуса r от горизонтальной плоскости П:

$$h_{1np} = r \cdot \sin(\psi_1 - \theta) \cdot \operatorname{tg} \eta_{np};$$

$$h_{2np} = r \cdot \sin(\psi_2 - \theta) \cdot \operatorname{tg} \eta_{np};$$

$$\dots$$

$$h_{nnp} = r \cdot \sin(\psi_n - \theta) \cdot \operatorname{tg} \eta_{np}.$$

7. Определить неплоскостность — расстояние e_1 (рис. 10) от точек прилегающей плоскости до соответствующих точек реальной поверхности:

$$e_1 = h_1 - (h_{1np} + H);$$

$$e_2 = h_2 - (h_{2np} + H);$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$e_n = h_n - (h_{nnp} + H).$$

8. Непараллельность в направлениях I—IV в линейной величине определяется как сумма абсолютных величин h_{np} :

$$|h_{I np}| + |h_{III np}| = \sigma_{n(I-III)};$$

$$|h_{II np}| + |h_{IV np}| = \sigma_{n(II-IV)}.$$

Непараллельность по направлению I—III в угловой мере будет

$$\eta_{I-III} = \sigma_{n(I-III)} / D_n,$$

где D_n — диаметр контролируемой поверхности, $\eta \approx \operatorname{tg} \eta$ вследствие малости.

Рассмотрим определение непараллельности и неплоскостности графоаналитическим методом на конкретном примере секции диаметром $D = 2r = 2000$ мм.

После выбора точек 3, 6 и 14, через которые проходит прилегающая плоскость, проводится расчет в следующем порядке:

1. Определение координат выбранных точек:

$$x = r \cdot \cos \psi; \quad y = r \cdot \sin \psi; \quad z = h.$$

Результаты расчетов сводятся в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Точка 3, мм	Точка 6, мм	Точка 14, мм
$x_1 = 766$	$x_2 = -174$	$x_3 = -174$
$y_1 = 643$	$y_2 = 985$	$y_3 = -985$
$z_1 = h_3 = 2,8$	$z_2 = h_6 = 4,2$	$z_3 = h_{14} = -3,4$

Таблица 5

№ п/п	$h_{пр}$, мм	№ п/п	$h_{пр}$, мм	№ п/п	$h_{пр}$, мм
1	-0,00	7	+3,33	13	-3,25
2	+1,22	8	+2,51	14	-3,73
3	+2,38	9	+1,38	15	-3,75
4	+3,25	10	+0,80	16	-3,33
5	+3,73	11	-1,22	17	-2,51
6	+3,75	12	-2,38	18	-1,38

Таблица 6

№ п/п	e_i , мм	№ п/п	e_i , мм	№ п/п	e_i , мм
1	-0,3	7	-0,21	13	-0,33
2	-0,3	8	-0,89	14	0,0
3	0,0	9	-0,16	15	-0,33
4	-0,03	10	-0,16	16	-0,45
5	-0,31	11	-1,16	17	-0,87
6	0,0	12	-0,5	18	-1,0

2. Определение коэффициентов уравнения прилегающей плоскости

$$Ax + By + Cz + D = 0;$$

$$A \equiv 159; B = -7144; C = 1851800; D = 713089.$$

3. Определение угла между горизонтальной и прилегающей плоскостями:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{C} = 0,0038.$$

С другой стороны $\operatorname{tg} \alpha$ должен быть $\leq (\sigma_{нл}/D)$.

4. Определение расстояния H между 1-й и 2-й горизонтальными плоскостями:

$$H = D/C = 0,38 \text{ мм.}$$

5. Определение угла Θ между осью ox и следом пересечения горизонтальной плоскости z с прилегающей плоскостью:

$$\operatorname{tg} \Theta = -(A/B) = 0,022; \quad \Theta = 1^\circ 16'.$$

6. Определение ординат точек $h_{\text{пр}}$ прилегающей плоскости, расположенных по окружности радиуса r от горизонтальной плоскости 2 по формуле:

$$h_{i \text{ пр}} = r \cdot \sin (\Psi_i - \Theta) \cdot \operatorname{tg} \alpha;$$

или

$$h_{1 \text{ пр}} = r \cdot \sin (\Psi_1 - \Theta) \cdot \operatorname{tg} \alpha;$$

$$h_{2 \text{ пр}} = r \cdot \sin (\Psi_2 - \Theta) \cdot \operatorname{tg} \alpha;$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$h_{18 \text{ пр}} = r \cdot \sin (\Psi_{18} - \Theta) \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Результаты расчетов сводим в табл. 5

7. Определение неплоскостности — расстояния от точки прилегающей плоскости до реальной поверхности e :

$$e_i = h_{i \text{ изм}} - (h_{\text{пр} i} + H).$$

Например: $e_1 = -0,3, \quad e_2 = -0,3.$

Результаты расчетов сведем в табл. 6.

1.1.3. Определение непараллельности и неплоскостности с помощью макета

После определения превышения точек от первоначальной точки неплоскостность и непараллельность можно измерить на специальном макете (рис. 11).

Макет представляет собой плоское кольцо 1 с подвижными штырями 2 одинаковой длины, расположенными по окружности. Количество штырей и их угловая разбивка должны соответствовать количеству проверяемых точек и их угловому расположению на контролируемой поверхности. Диаметр окружности расположения центров штырей произвольный.

Штыри устанавливаются таким образом, чтобы расстояние от плоскости кольца до конца штыря было пропорциональным превышению соответствующей точки над первоначальной (т. е. соответствовало ему в выбранном масштабе). После установки каждый штырь закрепляется. Таким образом, на макете имитируется проверяемая поверхность. После этого макет переворачивается и помещается на поверочную плиту 3, на которую и ляжет тремя наиболее выступающими штырями. Поверочная плита будет прилегающей плоскостью. Расстояние e_i от поверочной плиты до штырей будет неплоскостностью в данных точках (рис. 11).

Непараллельность вычисляется так же, как в описанном выше графическом методе: вначале определяется σ'_1 — в направ-

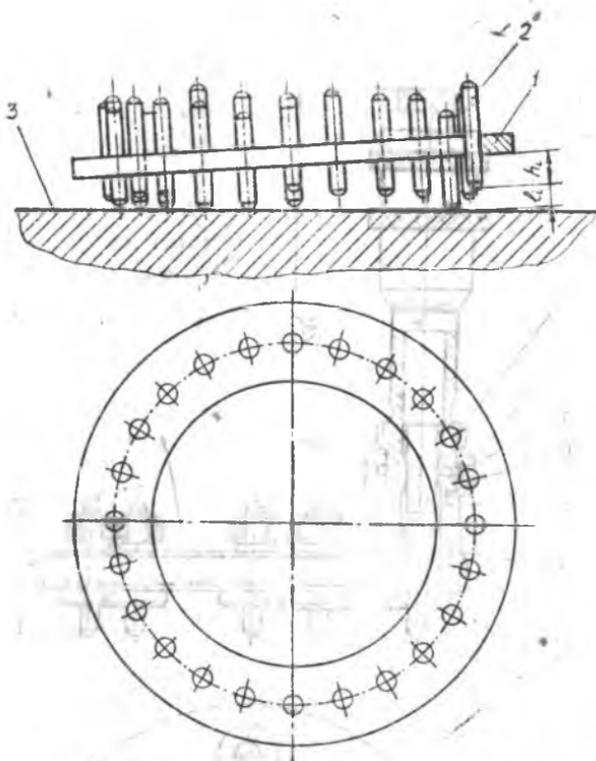


Рис. 11. Схема определения непараллельности и неплоскостности с помощью макета: 1 — плоское кольцо, 2 — штыри подвижные, 3 — плита поверочная

лении одной из сторон треугольника, образованного тремя опорными штырями; затем σ_2' — в направлении перпендикулярно к этой стороне треугольника. После этого вычисляется $\sigma_{н \max}$ — наибольшая непараллельность и θ' — угол расположения ее относительно первого направления σ_1 . (θ'' — угол между первым направлением и осью I поверхности и непараллельность по направлениям I—III и II—IV поверхности).

Непараллельность по строительным базовым плоскостям определяется по формулам:

$$\sigma_{н(I-III)} = (h_I - e_I) - (h_{III} - e_{III});$$

$$\sigma_{н(II-IV)} = (h_{II} - e_{II}) - (h_{IV} - e_{IV}).$$

Наибольшая непараллельность

$$\sigma_{н \max} = \sqrt{\sigma_{н(I-III)}^2 + \sigma_{н(II-IV)}^2}.$$

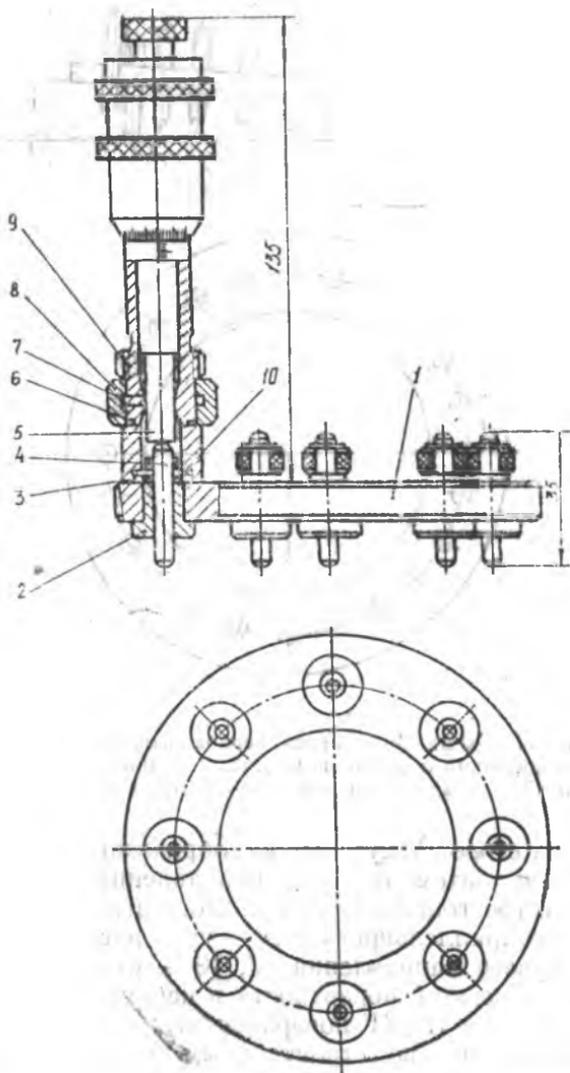


Рис. 12. Конструкция макета ЭНИМСа: 1 — кольцо, 2 — разрезная цапга, 3 — гайка, 4 — штырь подвижный, 5 — микрометр, 6 — втулка, 7 — штифт, 8 — кольцо, 9 — гайка, 10 — штифт

Положение наибольшей непараллельности

$$\operatorname{tg} \Theta_{\max} = \sigma_{\text{н(II-IV)}} / \sigma_{\text{н(I-III)}}.$$

Погрешность определения неплоскостности и непараллельности с помощью макета складывается из следующих составляющих:

неплоскостность торца кольца	Δ_1 , мм;
погрешность микрометра	Δ_2 , мм;
неплоскостность поверочной плиты	Δ_3 , мм;
погрешность замера размера	Δ_4 , мм;

$$\text{Суммарная погрешность } \Delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2}.$$

Данный метод позволяет определить неплоскостность и непараллельность плоскости шпангоута с точностью $\pm 0,04$ мм.

На рис. 12 показана наиболее совершенная конструкция макета ЭНИМСа.

Макет состоит из кольца 1, в котором с помощью разрезной цанги 2 и гайки 3 крепятся штыри, расположенные равномерно по окружности. Установка штырей на нужную высоту производится с помощью микрометрического узла. Микрометрический узел состоит из микрометра 5, закрепленного на втулке 6. На втулке 6 надето кольцо 8 с эксцентричной внутренней проточкой. При его вращении свободно вложенный штифт 7 зажимает подвижную пятю микрометра. Гайка 9 служит для закрепления кольца 8. Втулка 6 в нижней части имеет два запрессованных штифта 10. Расстояние от нижней опорной плоскости втулки 6 до мерительной плоскости микрометра должно быть аттестовано.

Узел микрометра ставится на плиту таким образом, чтобы один из штырей 4 оказался внутри втулки 6, при этом штифты 10 должны войти в шлицы гайки 3. Освобожденный штырь доводится до упора с мерительной плоскостью микрометра, выставленного на нужный размер h_i , и вращением микрометрического узла гайкой 3 зажимается в таком положении. Таким образом, все штыри макета выставляются на соответствующий размер h_i , после чего от плиты производится замер неплоскостности e_i и определяется непараллельность.

На макете должна быть маркировка строительных плоскостей и всех штырей.

Из трех рассматриваемых выше методов определения неплоскостности и непараллельности по результатам замеров наиболее удобен графический метод или метод с применением макета. Макеты просты в изготовлении. Графоаналитический метод наиболее перспективен при условии применения электронно-вычислительной техники.

1.2. КОНТРОЛЬ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА И ЗАКРУТКИ ВЕРХНЕГО И НИЖНЕГО ШПАНГОУТОВ ИЗДЕЛИИ

Под эксцентриситетом понимается смещение геометрического центра верхнего сечения крупногабаритного изделия относительно геометрического центра нижнего сечения при неподвижном положении последнего.

Под закруткой по углу верхнего и нижнего сечений крупногабаритных изделий понимается дуговое отклонение (перемещение) реперных знаков свободного торцевого сечения от базовых продольных плоскостей при несвободном (неподвижном) положении базового сечения.

Контроль этих параметров производится с помощью теодо-

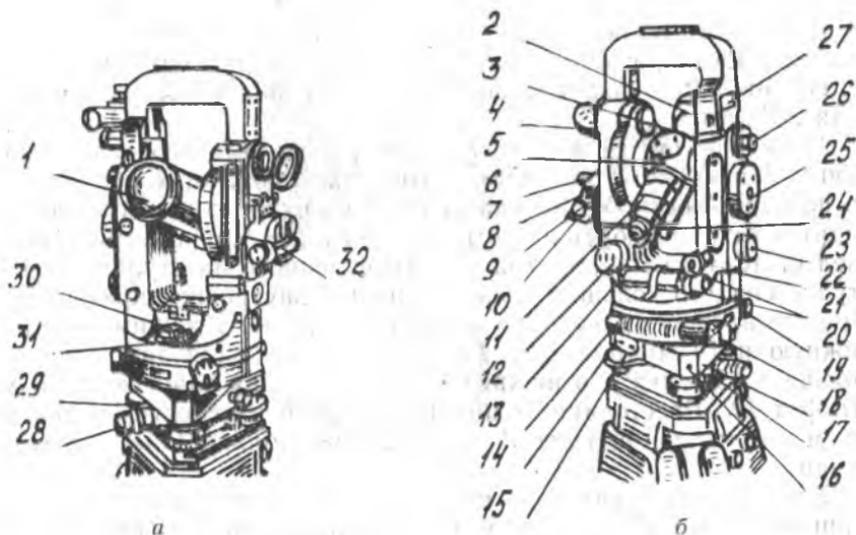


Fig. 13. Общий вид теодолита ТБ-1: а—вид спереди, б—вид сзади; 1—объектив, 2 — солнечная бленда, 3 — мушка, 4 — зеркало подсвета, 5 — целик, 6 — кремальера для установки на резкость изображения, 7 — призма для наблюдения за уровнем вертикального круга, 8 — крышка исправительных винтов сетки трубы, 9 — исправительные винты уровня вертикального круга, 10 — окуляр трубы, 11 — микрометрический винт уровня вертикального круга, 12 — цилиндрический уровень горизонтальной алидады, 13 — верхняя часть теодолита, 14 — штенсель электроосвещения, 15 — подъемные винты, 16 — оптический отвес, 17 — исправительно-юстировочные винты оптического отвеса, 18 — треножник, 19 — микрометрический винт точной горизонтальной наводки, 20 — винт закрепительный горизонтальной алидады, 21 — юстировочные винты уровня горизонтальной алидады, 22 — микрометрический винт точной вертикальной наводки, 23 — переключатель лимбов, 24 — окуляр микроскопа, 25 — барабан оптического микрометра, 26 — винт закрепительный зрительной трубы, 27 — отверстие для винта буссоли, 28 — окуляр оптического отвеса, 29 — фокусирующее кольцо оптического отвеса, 30 — круглый уровень, 31 — юстировочные винты круглого уровня, 32 — цилиндрический уровень вертикального круга

литов на специальных стендах с неподвижным или подвижным (поворотным) основанием. Ознакомимся с конструкцией и техническими характеристиками теодолита ТБ-1. Общий вид теодолита показана на рис. 13.

Основанием теодолита является треножник 18, снабженный тремя подъемными винтами 15 (рис. 13). На треножнике установлена верхняя часть теодолита 13. Посредством подъемных винтов вертикальная ось теодолита устанавливается отвесно.

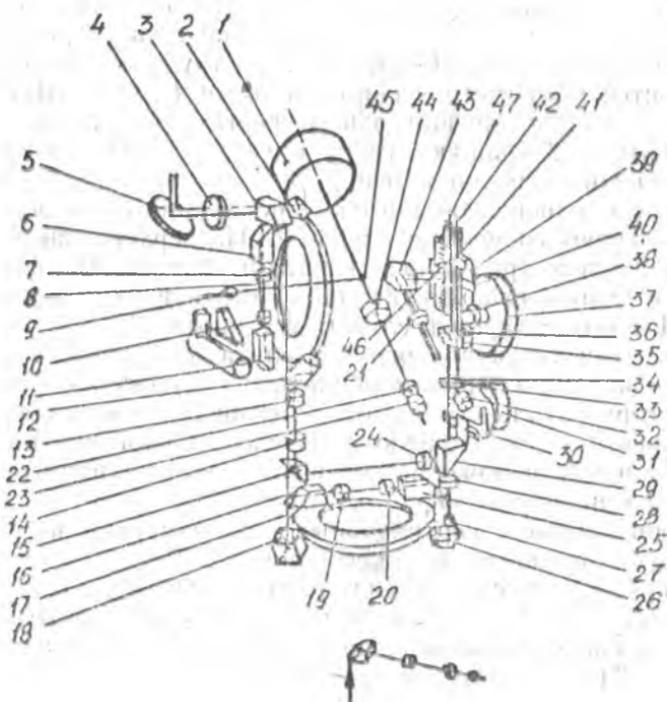


Рис. 14. Оптическая схема теодолита ТБ-1: 1 — объектив, 2, 3, 6, 11, 12, 15, 16, 18, 26, 27, 29 — призмы, 4 — защитное стекло, 5 — зеркало, 7, 10, 28 — линзы объектива, 8 — вертикальный лимб, 9 — защитное стекло иллюминатора, 13, 14, 19, 20 — склеенные линзы объектива, 17 — горизонтальный лимб, 21 — объектив микроскопа, 22 — окуляр трубы, 24, 25, 43 — линзы, 30 — ползун, 31 — головка переключателя лимбов, 32 — окуляр микроскопа, 33 и 34 — клин, 35 и 36 — оптические клинья микрометра, 37 — барабан микрометра, 38 — зубчатое колесо, 39 — зубчатая рейка, 40 — призма разделяющая, 41 — ползун, 42 — линейка, 44 — фокусирующая линза объектива трубы, 45 — зеркало подсвета сетки трубы, 46 — диафрагма, 47 — шкала оптического микрометра

В треножник вмонтирован оптический отвес 16, предназначенный для центрирования теодолита над заданной точкой. Зрительная труба теодолита представляет собой телескопическую систему с внутренней фокусировкой. Труба имеет сетку нитей, представляющую собой простое перекрестие.

При недостаточном естественном освещении можно производить подсвет сетки через иллюминатор. Резкое изображение сетки нитей трубы достигается вращением окуляра 10. Для фокусировки изображения предмета служит кремольера* 6. Для грубой наводки на цель пользуются визирной прорезью (целиком) 5 и мушкой 3. Для точной наводки закрепляют горизонтальную алидаду 21 и зрительную трубу винтами 20 и 26 и пользуются микрометрическими винтами 19 и 22. Винтом 19 вращают алидаду горизонтального листа вокруг вертикальной оси, а винтом 22 вращают трубу вместе с вертикальным лимбом вокруг горизонтальной оси.

Для предохранения объектива от попадания солнечных лучей на нее надевают солнечную бленду 2. На верхней части теодолита установлено три уровня. Круглый уровень 30 служит для грубой установки главной оси теодолита в вертикальное положение. Для его юстировки служат три винта 31.

Для точной установки оси теодолита в вертикальное положение служат цилиндрический уровень 12, расположенный на алидаде горизонтального лимба, и цилиндрический уровень 32 вертикального лимба. Точную установку главной оси теодолита в вертикальное положение осуществляют микрометрическим винтом 11 с надписью «Ур».

Горизонтальные и вертикальные углы измеряют по стеклянным лимбам при помощи микроскопов.

На лимбах нанесены деления от 0 до 360° через каждые 20'. Деления на горизонтальном лимбе нанесены двойными штрихами, а на вертикальном — одинарными. Оптическая схема теодолита ТБ-1 показана на рис. 14.

Техническая характеристика теодолита ТБ-1:

Увеличение зрительной трубы	25,5-кратное;
Поле зрения зрительной трубы	1°30';
Наименьшее расстояние визирования	1,2 м;
Разрешающая сила зрительной трубы	4;
Увеличение окуляра	25,5-кратное;
Расход окуляра	+5 диоптрий;
Фокусное расстояние объектива с фокусирующей линзой	249,7 мм

1.2.1. Контроль закрутки и эксцентриситета изделия на стенде с неподвижным основанием

На положение реперных точек сечения агрегата влияет как наличие эксцентриситета, так и закрутки данного сечения относительно базового. Поэтому контроль этих параметров ведется совместно по смещению реперных точек верхнего шпангоута относительно нижнего (рис. 15).

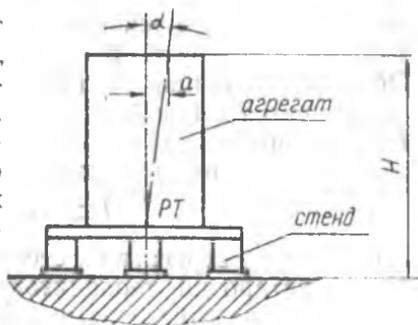


Рис. 15. Положение реперных (базовых) точек при закрутке агрегата
РТ — реперная точка; a — смещение РТ

При проведении контроля на неподвижном стенде закрутка и эксцентриситет шпангоутов определяются с помощью трех теодолитов, установленных под углом 90° по базовым плоскостям на расстоянии L_i от центра стенда

(рис. 16). Установку теодолитов удобнее производить до сборки агрегата по специальным маркам (знакам) A_1, A_2, A_3 , а также по реперным знакам стенда.

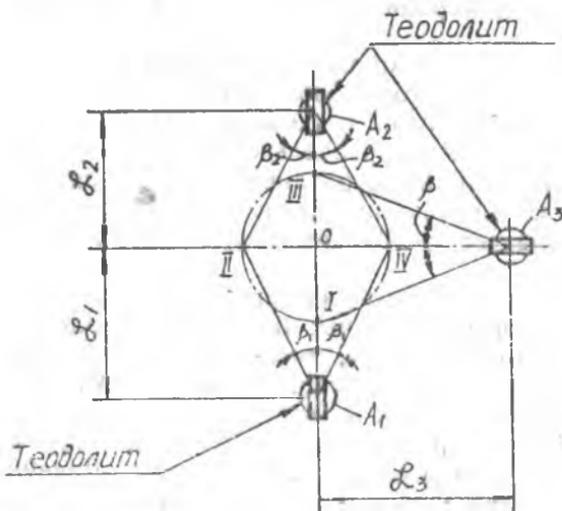


Рис. 16. Расположение теодолитов относительно измеряемого агрегата

Непосредственное измерение расстояния L можно заменить вычислением по формуле

$$L = R_n / \operatorname{tg} \beta,$$

где R_n — радиус окружности расположения стыковых отверстий на нижнем шпангоуте, β — угол измерения теодолитом.

Обычно расстояние L для каждого стэнда измеряется один раз и заносится в паспорт стэнда.

Если площадь цеха позволяет увеличить расстояние от центра стэнда до теодолитов, то его лучше брать

$$L \geq H + R_n.$$

где H — высота агрегата со стэндом.

После установки теодолитов по строительным плоскостям нижнего сечения отсека из реперной точки нижнего шпангоута, лежащей в базовой плоскости, визирной трубой теодолита восстанавливается перпендикуляр и измеряется угол α — отклонение соответствующей реперной точки верхнего сечения, измеренной в плоскости горизонтального лимба теодолита.

Линейная величина отклонения a определяется по формуле

$$a = (L - R_n) \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где a — линейное отклонение реперной точки верхнего шпангоута агрегата, R_n — радиус верхнего шпангоута изделия, α — угол смещения реперной точки верхнего шпангоута, измеряемый теодолитом.

Измеренное таким образом линейное отклонение реперной точки верхнего шпангоута может быть вызвано двумя факторами: наличием закрутки и эксцентриситета.

Следует определить отдельно величины этих параметров. Так как возможны самые различные сочетания закрутки и эксцентриситета, то способ их определения рассмотрим на примере (рис. 17). В расчете необходимо учитывать правило знаков, приведенное ниже:

1. Линейные величины составляющих эксцентриситета (ϵ_1, ϵ_2) и отклонений реперных точек (a_1, a_2, a_3) вправо от оператора, стоящего лицом к изделию, имеют знак «+», влево «—».

2. Закрутка против часовой стрелки имеет знак «+», а по часовой стрелке — знак «—».

При принятом правиле знаков величина закрутки и эксцентриситета вычисляется следующим образом. Линейная величина закрутки в контролируемом сечении определяется как алгебраическая полусумма линейных отклонений реперных точек в одной из базовых плоскостей:

$$S = \frac{a_1 + a_2}{2}$$

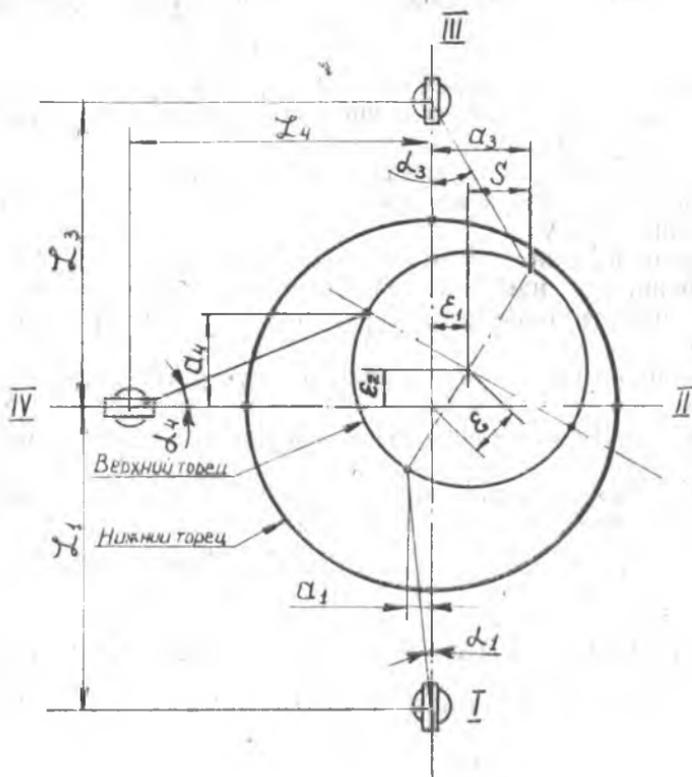


Рис. 17. Схема измерения закрутки и эксцентриситета агрегата методом трех теодолитов

Составляющая эксцентриситета ϵ_1 определяется как алгебраическая полуразность линейных отклонений реперных точек (в базовой плоскости, перпендикулярной плоскости, в которой определяется составляющая эксцентриситета), причем направление расположения эксцентриситета следует рассматривать со стороны той реперной точки, которая в уравнении стоит на первом месте (является уменьшаемым):

$$\epsilon_1 = \frac{a_1 - a_3}{2}$$

Составляющая эксцентриситета ϵ_2 определяется как алгебраическая разность отклонения реперной точки, лежащей на другой базовой плоскости, и закрутки S :

$$\epsilon_2 = a_4 - S$$

Полное значение эксцентриситета определяется по формуле

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2}$$

Погрешность измерения эксцентриситета и закрутки зависит от погрешности измерения линейных отклонений «а» реперных точек от оси изделия.

Она складывается из следующих погрешностей:

погрешности установки теодолита в базовой плоскости нижнего шпангоута Δ_1 ;

погрешности нанесения реперных точек Δ_2 ;

погрешности наводки теодолита на реперную точку Δ_3 ;

погрешности определения расстояния от центра станда до теодолита Δ_4 ;

погрешности радиуса стыковочных отверстий верхнего шпангоута Δ_5 ;

погрешности установки базовой плоскости нижнего шпангоута в горизонт Δ_6 .

Суммарная погрешность определения линейного отклонения реперных точек верхнего шпангоута

$$\pm \Delta_a = \pm \sqrt{\left[\frac{\Delta_1 (R_{II} - R_{II})^2}{(L - R_{II})} \right]^2 +$$

$$+ 2 \Delta_2^2 + 2 [(L - R_{II}) \Delta_3]^2 + (\operatorname{tg} \alpha \cdot \Delta_4)^2 + (\operatorname{tg} \alpha \cdot \Delta_5)^2 + \left(\Delta_6 \frac{H}{D_{II}} \right)^2} ..$$

Погрешности закрутки и эксцентриситета будут определяться как

$$\Delta a = \Delta S \pm \Delta \varepsilon$$

Из статистики и характеристики прибора могут быть приняты следующие количественные величины составляющих погрешностей:

$$\pm \Delta_1 = \pm 1 \text{ мм};$$

$$\pm \Delta_4 = \pm 10 \text{ мм};$$

$$\pm \Delta_2 = \pm 1 \text{ мм};$$

$$\pm \Delta_5 = \pm 2 \text{ мм};$$

$$\pm \Delta_3 = \pm 3'';$$

$$\pm \Delta_6 = \pm 0,5 \text{ мм}.$$

Основную погрешность вносит погрешность нанесения реперных точек, так как погрешность метода измерительных средств без учета погрешности нанесения реперных точек составляет $\pm \Delta_a' \cong \pm 0,55 \text{ мм}$.

1.2.2. Контроль закрутки и эксцентриситета изделий на стенде с вращающимся основанием

При наличии вращающегося основания станда (рис. 18) контроль закрутки и эксцентриситета изделий можно производить одним теодолитом, установленным на какой-либо базо-

вой плоскости на расстоянии L от центра стенда, причем $L \geq 0,6H + R_{в}$. После установки теодолита в базовой плоскости нижнего сечения изделия из реперной точки нижнего шпангоута, лежащей в базовой плоскости, теодолитом восстанавливается перпендикуляр и измеряется угол α отклонения реперной точки верхнего сечения, измеренной в плоскости горизонтального лимба теодолита. Линейная величина отклонения

$$a = (L - R_{в}) \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где L — расстояние от центра до теодолита, $R_{в}$ — радиус верхнего сечения.

Таким же способом измеряются линейные отклонения двух других реперных точек верхнего шпангоута при повороте изделия на 90° , 180° .

Закрутка и эксцентриситет определяются по такой же методике, как при контроле этих параметров на стенде с невращающимся основанием.

1.3. КОНТРОЛЬ ИСКРИВЛЕНИЯ ОСИ ИЗДЕЛИЯ К БАЗОВОЙ ОСИ

Контроль искривления оси изделия на стенде с неподвижным основанием производится с помощью трех теодолитов, установленных под углом 90° по строительным плоскостям. После установки теодолитов из реперной точки нижнего шпангоута, лежащей в базовой плоскости, теодолитом восстанавливается перпендикуляр и измеряются углы $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ отклонений реперных точек каждой секции, измеренные в плоскости горизонтального лимба теодолита (рис. 19). Линейная величина отклонения

$$a = (L - R_0) \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где L — расстояние от центра стенда до теодолита, R_0 — радиус секции соответствующего сечения.

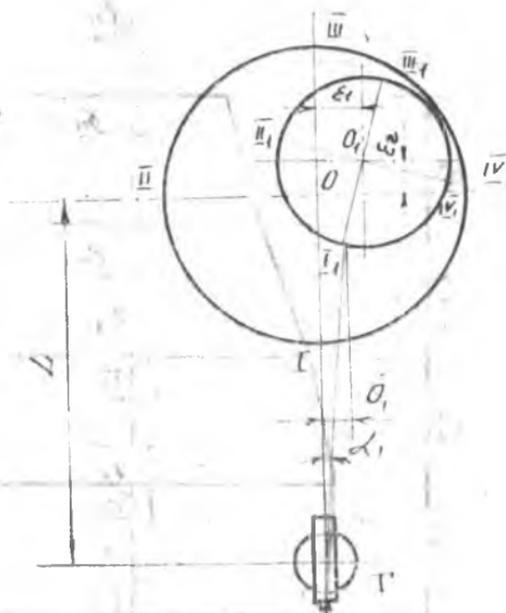


Рис. 18. Схема контроля закрутки и эксцентриситета изделия на стенде с вращающимся основанием

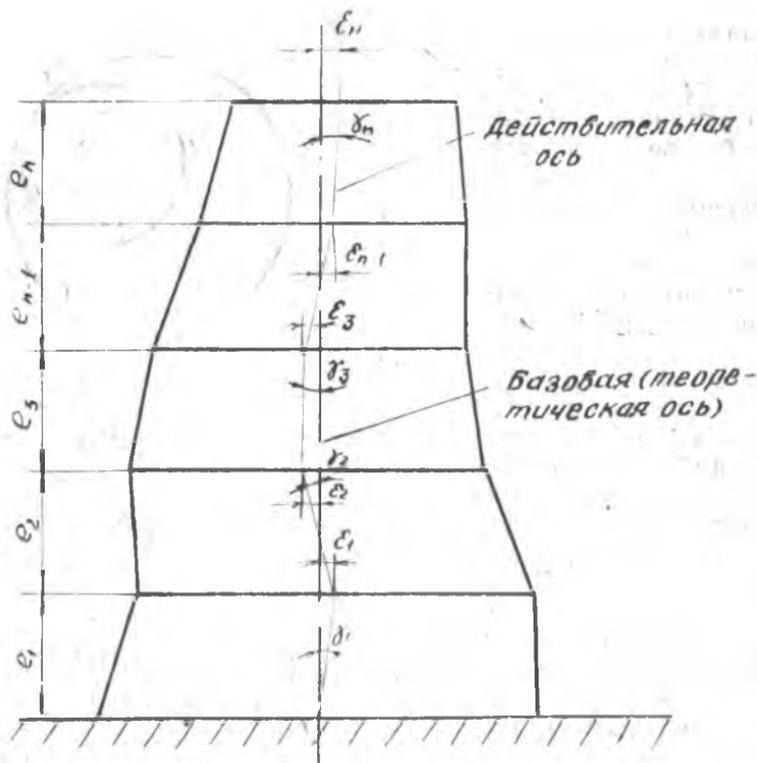


Рис. 19. Схема контроля искривления продольной оси изделия относительно базовой оси

Измеренное таким образом линейное отклонение реперной точки вызывается наличием закрутки и эксцентриситета в данном сечении. Для определения искривления оси необходимо определить эксцентриситет каждого сечения в двух плоскостях.

По составляющим эксцентриситетов в двух плоскостях определяется отклонение осей секций от базовой оси.

Для данного случая имеем:

$$\gamma_1 = \frac{e_1 - e_1}{l_1};$$

$$\gamma_2 = \frac{e_1 - (-e_2)}{l_2};$$

$$\dots$$

$$\gamma_n = \frac{e_{n-1} - e_n}{l_n};$$

где l_i — длина секции.

Таким образом, угол между базовой осью изделия и осью секции в данной плоскости вычисляется как алгебраическая разность составляющих эксцентриситета в нижнем $\epsilon_{нс}$ и верхнем $\epsilon_{вс}$ сечении секции, деленная на длину l_0 :

$$\operatorname{tg} \gamma \cong \gamma = \frac{\epsilon_{нс} \pm \epsilon_{вс}}{l_0} .$$

1.4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДИАМЕТРОВ НЕЖЕСТКИХ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Применение универсальных и специальных мерительных средств (линейные скобы, штихмассы) для прямого измерения размеров диаметров крупногабаритных размеров не представляется возможным, так как приводит к большой массе, громоздкости и неточности контроля.

Значительное уменьшение габаритных размеров измерительного инструмента позволяет осуществить измерение косвенными методами, к которым относятся:

метод опоясывания изделия рулеткой или измерительной лентой;

метод обкатки агрегата мерным роликом.

При косвенных измерениях искомый размер определяют с помощью других размеров, связанных с ним функциональной зависимостью. Из приведенных методов измерения наиболее перспективным с точки зрения универсальности и возможности автоматизации является метод обкатывания роликом.

Размер поперечного сечения (диаметра) нежестких изделий характеризуется их периметром Π или условным диаметром D_y наружной или внутренней поверхности.

Условным диаметром изделия называется диаметр окружности, имеющей периметр, равный периметру, его. Он равен

$$D_y = \Pi / \pi \quad (\pi = 3,1416) .$$

Рассмотрим указанные выше методы измерения диаметров.

1.4.1. Метод опоясывания

Этот метод заключается в том, что с помощью рулетки или измерительной ленты 4 путем опоясывания ею изделия 1 измеряют его периметр. Схема измерения показана на рис. 20.

При измерении рулеткой размеры измерения определяются как разность отсчетов по обеим ветвям рулетки в месте отсчета. Применяются рулетки стальные типа P_c шириной 10—12 мм, толщиной 0,2 мм.

Длина периметра Π определяется по формуле

$$\Pi = L - \pi t$$

где L — длина ленты рулетки, t — толщина ленты рулетки.

При измерении с помощью измерительной ленты определенной длины результаты измерения определяются по величине зазора между концами ленты.

Длина периметра определяется по формуле

$$\Pi = L - \pi t + a,$$

где L — длина ленты, a — зазор между концами ленты.

При измерении рулетка или измерительная лента должны плотно прилегать к поверхности обечайки, что обеспечивается ее натяжением с помощью грузов или специальных натяжных приспособлений. Масса грузов берется с учетом растяжения рулетки и трения ее о поверхность детали по табл. 7.

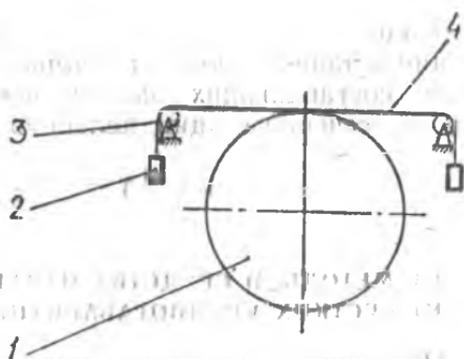


Рис. 20. Схема метода опоясывания: 1 — измеряемое изделие, 2 — грузы натяжения, 3 — ролик, 4 — лента измерительная.

Таблица 7

Размер рулетки	Массы грузов при аттестации, кг	Материалы детали	
		сталь	алюминиевые сплавы
		Масса грузов при измерении, кг	
Рс-2	5,0	6,0	6,5
Рс-5			
Рс-10			
Рс-20	10,0	12,0	13,0
Рс-30			
Рс-50			

В качестве натяжного приспособления применяется приспособление, показанное на рис. 21. Оно имеет катушку 1 с ручкой 2 для намотки ленты 3 рулетки и обойму 4 с рукояткой б. При измерении обойму упирают в изделие и поддерживают за

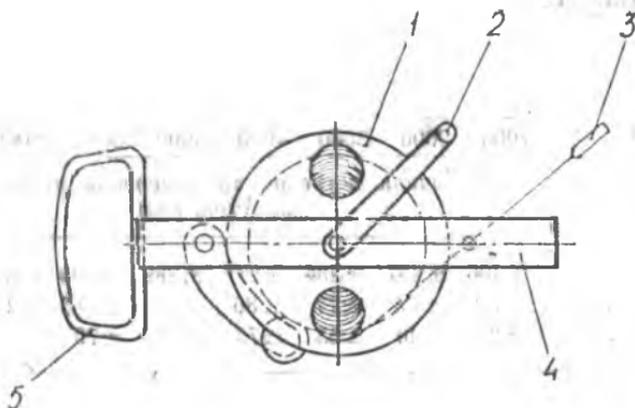


Рис. 21. Натяжное приспособление: 1 — катушка, 2 — пучка, 3 — лента мерительная, 4 — роузма, 5 — рукоятка

рукоятку. Ленту опоясывают вокруг изделий и к ее концу подвешивают груз.

При измерении с помощью мерных лент 4 применяется приспособление, показанное на рис. 22. Оно состоит из струбины 2, винта 3 и зубчатой муфты 1, с помощью которой обеспечивается постоянство усилия натяжения.

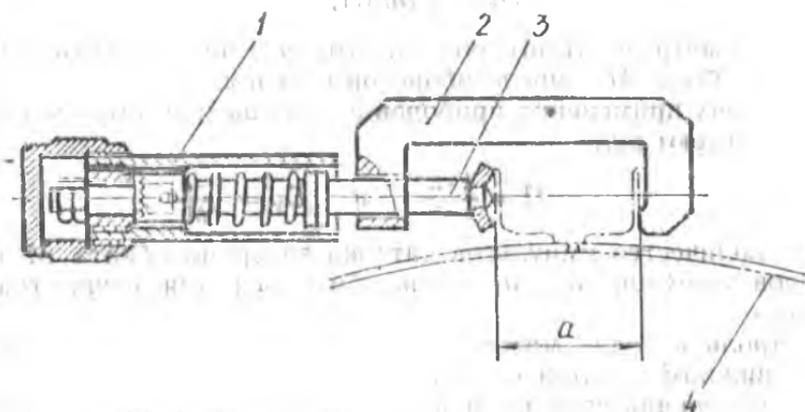


Рис. 22. Приспособление для натяжения мерительной ленты: 1 — зубчатая муфта, 2 — струбина, 3 — винт, 4 — лента мерительная

Суммарная погрешность измерения методом опоясывания показана в табл. 8.

Таблица 8

Средства измерения	Диаметр изделия							
	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10000
	Величина погрешности измерения условного диаметра, мкм							
Рабочие рулетки	±206	±237	±256	±277	±289	±300	±334	±348
Образцовые рулетки	±53	±65	±77	±86	±95	±105	±126	±148
Измерительные ленты	±29	±40	±55	±73	±88	±79	—	—

1.4.2. Метод обкатки изделия мерным роликом

Сущность измерения методом обкатки заключается в измерении числа оборотов ролика известного диаметра при обкатке им периметра изделия. При отсутствии проскальзывания путь, пройденный роликом, равен периметру изделия.

При этом периметр определяется по формуле

$$P = \pi d (n/M),$$

а условный диаметр — по формуле

$$D_y = d (n/M),$$

где d — диаметр обкатного ролика, мм; n — число оборотов обкатного ролика; M — число оборотов изделия.

В случаях применения приборов с импульсным датчиком эти формулы имеют вид:

$$P = \frac{k \cdot a}{M} \quad \text{и} \quad D_y = \frac{k \cdot a}{M},$$

где k — количество импульсов датчика за время обката M периметров изделия; a и a_1 — цена импульса для периметра и диаметра.

Контроль изделий может осуществляться двумя способами: при подвижном изделии и неподвижном.

При измерении изделия непосредственно на стенде движение поворотное сообщается изделию, а обкатной прибор неподвижно закреплен в суппорте стенда. Обкатной прибор имеет импульсный датчик угла поворота ролика, датчик оборота детали, электронную схему преобразования импульсов и счетчик импульсов. В качестве импульсных датчиков применяются оптические и индуктивные датчики.

При измерении изделий, снятых со станда, движение сообщается обкатному ролику, катящемуся по изделию. Ручные приборы имеют шкалу с нониусом для определения угла поворота обкатного ролика и визирное устройство для определения начала и конца отсчета.

Для обеспечения требуемой точности измерения нежестких изделий необходимо знать точность диаметра обкатного ролика, ширину обкатного ролика, величину измерительного усилия прижатия обкатного ролика к изделию.

Допустимые отклонения диаметра обкатного ролика определяются исходя из допустимой погрешности измерения. Допустимые отклонения формы обкатного ролика от круга составляют не более $0,25 \Delta D$ (ΔD — допуск на диаметр).

Рекомендуемые диаметры обкатного ролика приведены в табл. 9.

Таблица 9

Вид прибора	Приборы для измерения периметров		Приборы для измерения условного диаметра
	Периметр ролика, мм	Диаметр ролика, мм	Диаметр ролика, мм
Приборы для измерения на станках (станках)	500	$159,155 \pm 0,001$	$125 \pm 0,001$
	250	$79,578 \pm 0,0015$	$100 \pm 0,001$
Ручные приборы	250	$79,578 - 0,0015$	$50 - 0,001$
	100	$31,831 - 0,001$	

Ширина рабочей поверхности цилиндрического обкатного ролика выбирается с учетом допустимого удельного давления для материала изделия, необходимого измерительного усилия и формы контролируемой детали по табл. 10.

Таблица 10

Вид прибора	Ширина рабочей части ролика, мм			
	материалы изделия			
	стали		алюминиевые сплавы	
	форма детали			
	цилиндр, сфера	конус	цилиндр, сфера	конус
Для измерения на стенде	8—2	5—1	10—2	6—2
Ручные приборы	2—1	1—0,5	3—1	1—0,5

Измерительное усилие, т. е. сила прижатия обкатного ролика к изделию выбирается с учетом допустимого удельного давления для материала изделия, условий работы обкатного ролика при измерении; т. е. наличия вибраций и динамических нагрузок, жесткости детали. Рекомендуемые величины измерительного усилия приведены в табл. 11.

Таблица 11

Вид прибора	Измерительное усилие	
	в кгс	в Н
Для измерения на станке	8—15	80—150
Ручные приборы	0,5—2	5—20

Теперь рассмотрим приборы, наиболее широко применяющиеся для измерений нежестких изделий.

Для измерения изделий, снятых со станка (стенда), применяется ручной прибор 7ПКС-157 (рис. 23). Этот прибор механического типа. Для измерения угла поворота обкатного ролика 4 в нем используется два диска со шкалами. Один из них 6 непосредственно связан с обкатным роликом, вторая шкала 3 — через понижающую передачу 5. По диску 6 с помощью нониуса 2 производится отсчет долей оборотов ролика, по диску со шкалой 3 — целые обороты ролика. Шкала прибора может быть проградуирована в единицах периметра или условного диаметра. Для установки на измеряемые изделия 1 прибор имеет специальные опорные 7 и прижимные 8 ролики, обеспечивающие правильную ориентацию прибора и необходимое измерительное усилие.

Техническая характеристика прибора 7ПКС-157:

Диапазон измеряемых диаметров	300—5000 мм;
Диапазон измеряемых периметров	900—16000 мм;
Диаметр обкатного ролика:	
для измерения диаметров, мм	50 +0,004 +0,001
для измерения периметров, мм	63,66 +0,009 +0,006
Цена деления нониуса:	
при измерении диаметра	0,05 мм;
при измерении периметра	0,1 мм
Суммарная погрешность измерения диаметров	
свыше 3000 мм	0,25 мм;
Измерительное усилие	0,8 кгс (8 Н)
Габариты прибора	140×140×60 мм;
Масса прибора	1,5 кг

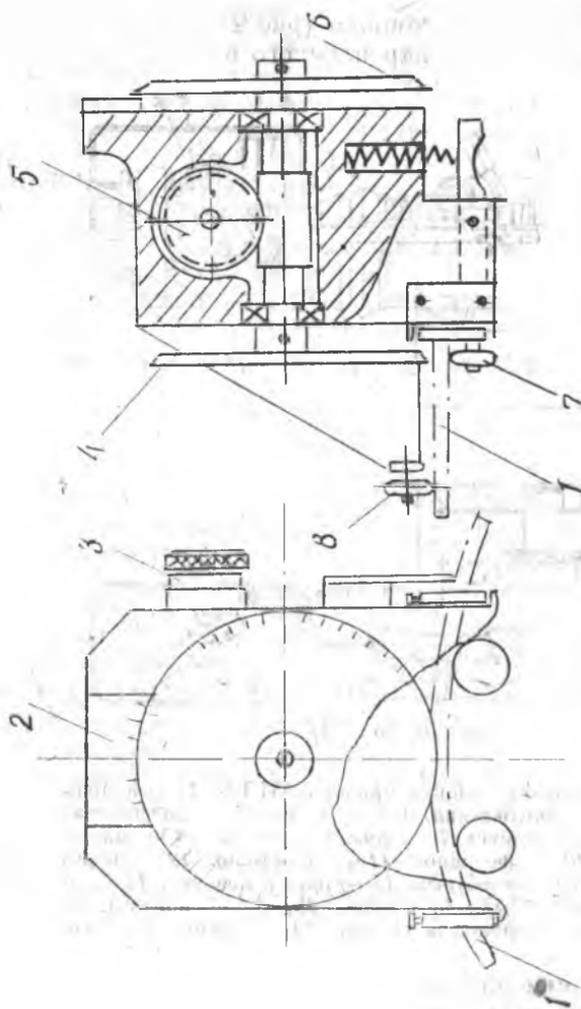


Рис. 23. Ручной прибор 7ПКС-157 для измерения диаметров: 1 — измеряемое изделие, 2 — корпус, 3 — шкала отсчета полных оборотов ролика, 4 — ролик обкатной, 5 — зубчатая передача, 6 — ролик опорный, 7 — ролик прижимной

Прибор АИД-6 состоит из измерительной головки, которая закрепляется на резцедержателе суппорта или на специальном приспособлении, электронного счетно-управляющего устройства, устанавливаемого на пульте управления станка и бесконтактного датчика оборотов.

Измерительная головка прибора (рис. 24) состоит из датчика измерительных импульсов, закрепленного в приспособлении для

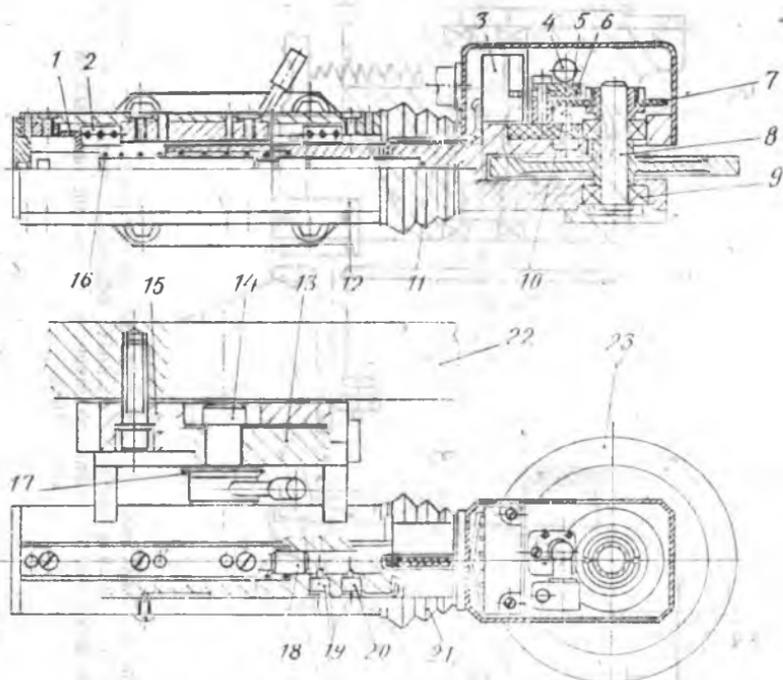


Рис. 24. Измерительная головка прибора АИД-6: 1 — направляющие, 2 — шарики, 3 — фотокатод, 4 — лампочка, 5 — диафрагма, 6 — неподвижная шкала (полюс), 7 — диск стеклянный, 8 — вал, 9 — шарикоподшипник, 10 — фотодиод, 11 — хвостовик, 12 — корпус, 13 — шпонка, 14 — клин поворотный, 15 — плата базовая, 16 — пружина, 17 — прижим тарельчатый, 18 — шток, 19, 20 — контакт, 21 — манжета, 22 — резцедержатель станка, 23 — ролик измерительный

установки на резцедержателе станка. Приспособление состоит из корпуса 12, который при помощи шпонки 13 и поворотного клина 14 с ручкой и тарельчатыми прижимами 17 точно фиксируется на заранее выверенной базовой плите 15, привинченной винтами к резцедержателю 22. Датчик с измерительным роликом 23 закреплен на хвостовике 11, который может перемещаться на шариках 2 по направляющим 1, установленным на кор-

пусе 12. Пружина 16 прижимает ролик 23 к поверхности контролируемой детали; шток 18, замыкая контакт 19, сигнализирует о достижении нормального измерительного усилия (равного 8,5 кгс=85 Н), а замыкая контакт 20, — о максимально допустимом прижатии диска и опасности повреждения головки. Манжета 21 предохраняет направляющие от запыления. В датчике-головке на валу 8 измерительного ролика 23, установленного на шарикоподшипниках 9, закреплен стеклянный диск 7 с радиальными непрозрачными штрихами (1000 штрихов). Лампочка 4 через диафрагму 5, неподвижную шкалу (нониус) 6 и шкалу диска 7 освещает фотодиод 10 типа ФД-1, в котором вырабатываются электрические импульсы, усиливаемые фотокаскадом 3 на транзисторах и передаваемые в электронно-счетное управляющее устройство. В управляющее устройство входят датчик оборотов с усилителем.

Одной из последних моделей приборов для активного контроля является прибор АИД-8, отличающийся использованием в регистрирующем устройстве цифровой индикации.

Техническая характеристика прибора АИД-6:

Диапазон измеряемых диаметров	100—10 000 мм;
Диаметр обкатного ролика	100 мм;
Цена деления импульса	0,01 мм;
Измерительное усилие	8—10 кгс (80...100)н;
Погрешность измерения диаметров до 1000 мм	±0,011 мм.

С целью оценки точности контроля рассмотрим основные погрешности измерения методом обкатывания роликом. Основными источниками возникновения погрешности измерения являются следующие факторы:

1. Неточность изготовления измерительного ролика по наружному (рабочему) диаметру, а также износ его рабочей поверхности в процессе эксплуатации.

2. Биение наружной поверхности ролика.

3. Изменение обкатного диаметра ролика из-за упругих деформаций, обусловленных усилием прижатия ролика к измеряемому объекту.

4. Наличие неровностей на поверхности измеряемого изделия и деформации измеряемого изделия.

5. Температурная деформация измерительного ролика и измеряемого изделия.

6. Неточность установки измерительного ролика, выражающаяся:

в непараллельности между осью вращения ролика и поверхностью измеренного изделия,

в непараллельности между плоскостью вращения ролика и направлением вращения изделия.

7. Дискретность отсчета.

8. Неточность изготовления кинематического редуктора и импульсообразующего диска датчика.

9. Проскальзывание ролика относительно измеряемого изделия в период неустановившегося движения из-за вибраций.

Суммарная погрешность контроля методом обкатывания составляет $\pm \Delta_{\text{сум}} = \pm 0,1$ мм.

1.4.3. Приборы для измерения диаметров с учетом некруглости

Для измерения диаметра изделия с учетом некруглости разработан опытный прибор, который может показывать максимальный диаметр и величину разности полуосей эллипса. Это достигается путем ввода в показания измерительного ролика-датчика, характеризующего величину среднего диаметра измеряемого изделия, поправки, равной величине отклонения фактического диаметра детали от полученного среднего диаметра.

Для использования на карусельных станках (рис. 25) предложен прибор с двумя измерительными роликами, один из которых перекачивается по цилиндрической поверхности контролируемого изделия, а второй — по специально подготовленной технологической проточке планшайбы, электронного блока и двух регистрирующих устройств.

Контролируемое изделие 1, закрепленное на планшайбе станка 2, приводится во вращение приводом планшайбы станка. Измерительный ролик 13 прибора, головка которого устанавливается на суппорте станка 14, прижимается к поверхности контролируемого изделия и тем самым приводится во вращение.

Аналогичный первому ролик-датчик 12 прижимается к технологической проточке планшайбы станка и приводится во вращение. Оба ролика связаны с круговыми датчиками преобразования угла поворота в синусоидальный электрический сигнал.

Напряжение синусоидальной формы с первого датчика поступает в усилитель-формирователь 11, где превращается в последовательность электрических импульсов прямоугольной формы с постоянной амплитудой и длительностью. Сформированные таким образом импульсы поступают в блок 8, преобразующий последовательность электрических импульсов в постоянное напряжение, пропорциональное частоте входного синусоидального напряжения, которое, в свою очередь, пропорционально скорости обкатывания роликом поверхности контролируемого изделия.

ля. Со второго датчика (ролик 13) сигнал поступает в блоки 10 и 9. Из преобразователей 8 и 9 напряжения подаются в блок алгебраического суммирования 6. Алгебраическая сумма входных напряжений прямо пропорциональна разности частот вход-

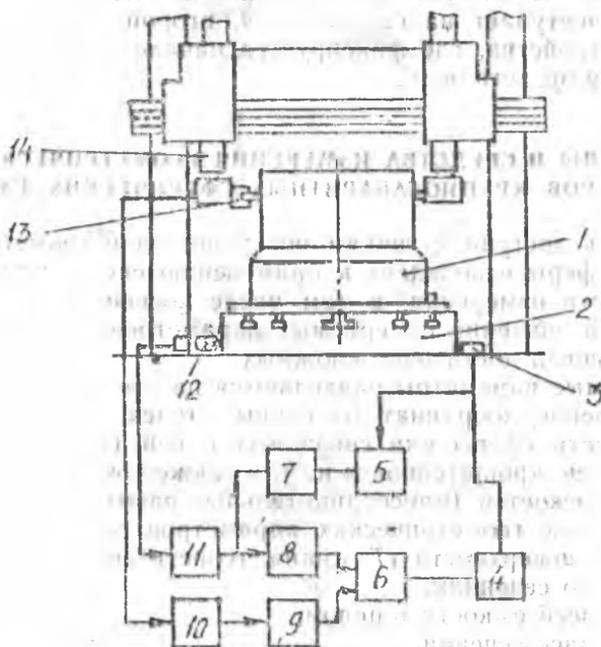


Рис. 25. Схема прибора для измерения диаметров с учетом некрутости: 1 — контролируемое изделие, 2 — планшайба станка, 3 — датчик, start-стопный, 4 — регистрирующее устройство, 5 — счетное устройство, 6 — блок суммирования, 7 — блок измерения, 8, 9 — блоки-преобразователи, 10, 11 — блок усилитель-формирователь, 12, 13 — ролики-датчики, 14 — суппорт станка

ных сигналов, а следовательно, в данный момент пропорциональна отклонению формы детали от круглости и за полный оборот детали изменяется строго в соответствии с изменением формы детали.

Подавая сигналы, поступающие из сумматора в регистрирующее устройство 4, можно записать результаты измерения некрутости контролируемого изделия в виде диаграммы.

Измерение диаметра изделия происходит следующим образом. Сигнал с блока 11 в виде последовательности прямоуголь-

ных импульсов поступает на схему «И» (измерение) блока 7, на которую от старт-стопного датчика 3 поступает разрешающее напряжение. Далее, после схемы «И» импульсы поступают в цифровое счетное устройство 5, с которого считывается результат измерения диаметра. Одновременно сигнал старт-стопного датчика 3 поступает на самописец 4, второй канал регистрирующего устройства, где фиксируется начало и конец оборота контролируемой детали.

1.5. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЕМКостей

Трудность доступа к точкам поверхностей и геометрическому центру сферы вынуждает к применению специальных методов и средств измерения, в том числе косвенных, связанных с получением значений измеряемых параметров с помощью вычислений, иногда достаточно сложных.

Измеряемые параметры разделяются на две группы:

1. Измерение координат отдельных точек, расположенных на поверхности сферы или связанных с ней (например, координат фланцев, кронштейнов и пр.), а также точек базовых привалочных плоскостей (присоединительные размеры).

2. Измерение геометрических параметров собственно сферы: формы ее поверхности (T -линия, теоретическая), объемов по сечениям, объемов всей емкости в целом, центров масс сечений, центра массы всего объема сферы.

Прежде чем перейти к рассмотрению отдельных методов и средств измерения, рассмотрим специфические понятия, определения и терминологию, относящиеся к сферическим поверхностям.

Базы для измерений и начала отсчета

Для измерения всех размеров емкостей и определения отклонений от заданных их значений принимается система точек, прямых, плоскостей и направлений, связанных с емкостями размерами, заданными чертежами.

Координатная система для емкостей увязывается с принятыми для изделия направлениями (осями) I—IV, привязанными к оси изделия. Все отсчеты и измерения базовых точек производятся в направлении осей I—II—III—IV (рис. 26).

Основной базовой плоскостью емкости является опорная плоскость ее стыковочного шпангоута, устанавливаемая горизонтально.

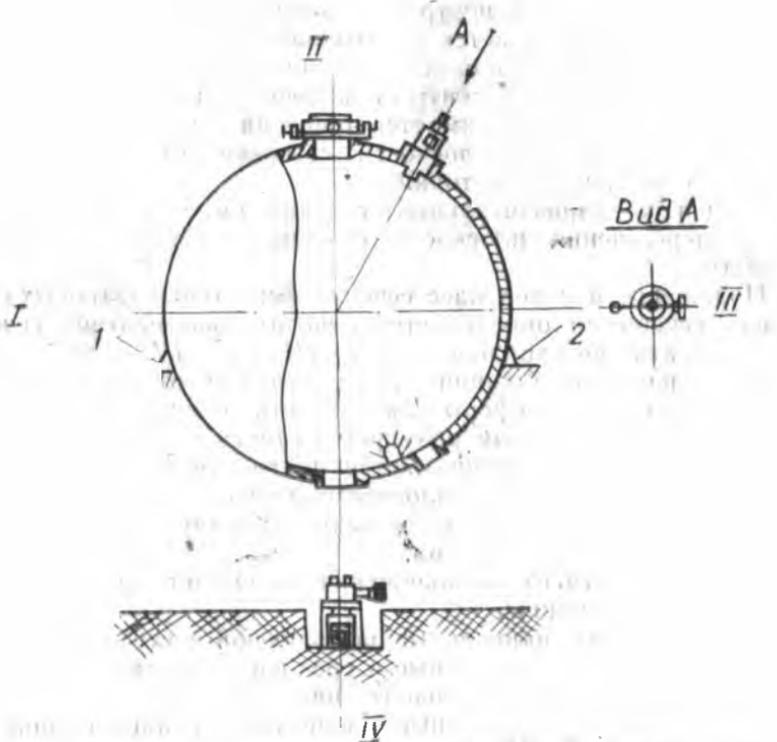


Рис. 26. Типовая конструкция сферического бака: 1, 2 — базовые опорные кронштейны стыковочного шпангоута

За плоскость стыковочного шпангоута принимается плоскость, проходящая через центральные точки опорных поверхностей трех кронштейнов стыковочного шпангоута, называемых базовыми опорными кронштейнами, расположенных через 120° по окружности стыка. Точка 1 располагается на опорном кронштейне, ближнем к направлению I, точка 2 — между направлениями II—III, а точка 3 — между направлениями III—IV. Точки 1—2—3 должны быть указаны в чертежах емкости.

За центр стыковочной окружности принимается точка пересечения двух прямых, проведенных через две пары диаметрально расположенных точек, на радиусе окружности стыковочных отверстий в центральных точках опорных поверхностей кронштейнов стыковочного шпангоута емкости. Эти кронштейны называются осевыми опорными кронштейнами. Необходимо центральные точки осевых кронштейнов выполнять калибровочными отверстиями, центры которых и будут определять прямые, слу-

жащие для отыскания центра стыковочной окружности. Расположение точек указывается в чертежах емкости.

За вертикальную ось емкости принимается вертикальная прямая, проходящая через центр стыковочной окружности.

За центр сферы принимается точка на вертикальной оси емкости, отстоящая от плоскости стыковочного шпангоута на заданном чертежом расстоянии.

За центры горизонтальных сечений емкости принимаются точки пересечения плоскости сечения с вертикальной осью емкости.

Положение центров масс сечений емкостей и шаровых слоев между сечениями определяется относительно центров сечений в координатах по направлениям $I-III$ и $II-IV$.

Отклонения от T -линии сферы в точках отсчитываются по радиусам от центра сферы как разность между заданным чертежом и действительным размером радиуса в данной точке.

За центр фланца принимается центр отверстия проходного сечения фланца торцевой плоскости фланца.

За ось фланца принимается перпендикуляр к его торцу, проходящий через центр фланца.

В зависимости от расположения на емкости фланцы разделяются на три группы:

1. Фланцы, расположенные на полюсной части емкости.
2. Фланцы, расположенные в средней зоне, между полюсной частью и зоной экваториального шва емкости.
3. Фланцы, расположенные в зоне экваториального шва.

Для примера рассмотрим некоторые виды измерений.

1.5.1. Измерение координат фланцев, расположенных на полюсной части емкости

Линейные и угловые координаты фланца рекомендуется отсчитывать от центра сферы в системе координат $I-II-III-IV$ с угловым отсчетом в направлении от I к II и т. д., а также приняты следующие обозначения (рис. 27):

R_n^Φ — радиус расположения фланца от вертикальной оси емкости в проекции на горизонтальную плоскость;

H_n^Φ — размер (высота) от центра фланца до базовой плоскости (плоскости опорного шпангоута);

α_n^Φ — угол между направлением I и радиусом;

γ_n^Φ — угол отклонения от перпендикулярности торцевой плоскости фланца к плоскости, проходящей через вертикальную ось емкости и центр фланца;

β_n^Φ — угол наклона торцевой плоскости фланца к горизонту в направлении радиуса R_n^Φ (в плоскости, проходящей через ось емкости и центр фланца);

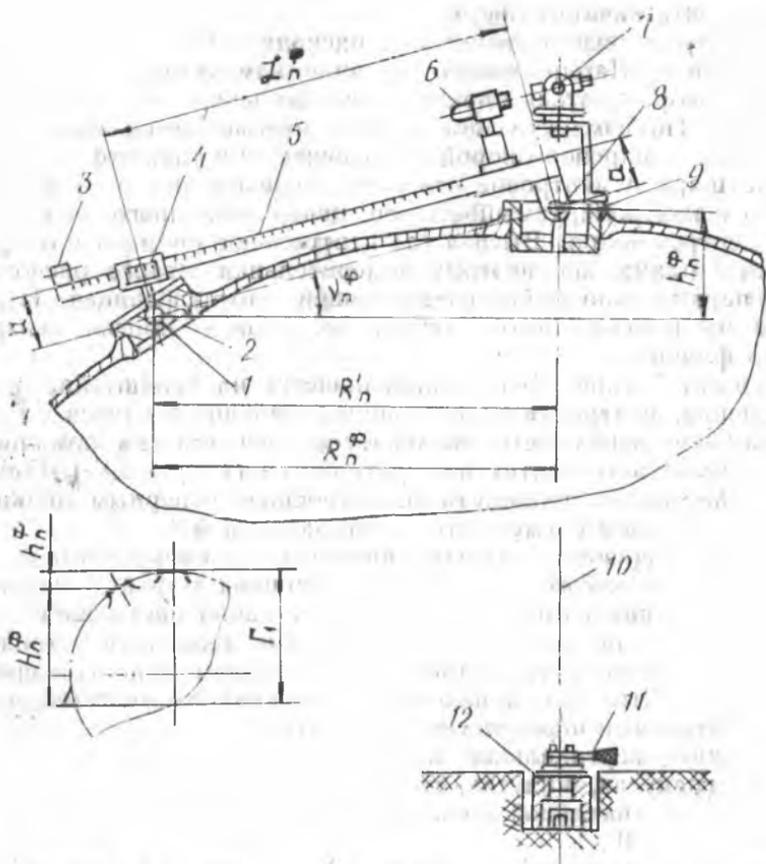


Рис. 27. Схема измерения координат фланцев: 1 — шарнирная опора, 2 — переходник, 3 — визирная марка, 4 — каретка, 5 — линейка, 6 — коллиматор, 7 — теодолит, 8 — центральная опора, 9 — переходник центрального отверстия, 10 — отвес, 11 — репер, 12 — микрометрическое устройство

L_n^Φ — хорда, соединяющая центры двух измеряемых фланцев;
 v_n^Φ — угол между хордой, соединяющей центры двух фланцев, и горизонтальным направлением.

Индексом « n » обозначаются порядковые номера фланцев. Измерение размеров R^Φ , H^Φ , L^Φ для фланцев полюсной части производят комплексно с помощью теодолита ТБ-1 и специального приспособления с встроенным коллиматором. На рис. 27 показаны эскиз приспособления и схема измерения. Приспособление через переходник 9 базируется своей центральной опорой 8 на центральном (осевом) фланце емкости по его оси

так, что центр качания опоры 8 измерительной штанги (линейки 5) вокруг горизонтальной оси располагается в центре осевого фланца. Шарнир опоры качания измерительной штанги может поворачиваться вокруг вертикальной оси на угол $340-345^\circ$. По измерительной штанге перемещается каретка 4 с нониусом и шаровой опорой 1, рассчитанной так, что при установке шара в центровое отверстие переходника 2, установленного в контролируемый фланец, центр последнего совмещается с центром шара. Высота (a) центральной опоры 8 и опоры каретки 1 одинакова, поэтому измерительная штанга располагается параллельно хорде, соединяющей центры фланцев. Нуль шкалы на измерительной штанге расположен против центра осевого фланца.

Теодолит 7 типа ТБ-1 устанавливается на кронштейне приспособления, центрируется с помощью струнного отвеса 10 по вертикальной оси емкости, обозначенной репером 12 с помощью микрометрического контактного устройства 11 типа КУ-1. Горизонтальная шкала теодолита по выносным реперным знакам нулевым делением совмещается с направлением 1.

Перед измерением теодолит визируется по коллиматору 6. Для установки самого коллиматора визирная марка 3 подводится на визирную линию теодолита, установленного на 0° по горизонтальной шкале. По установленному теодолиту устанавливается коллиматор так, чтобы деления коллимационной шкалы, принимаемые для дальнейших измерений за нулевые, совпали со штрихами перекрестия теодолита.

Показания вертикальной шкалы теодолита при такой установке (в градусах, минутах, секундах) принимаются за начало отсчета по вертикальной шкале. По горизонтальной шкале отсчет ведется от 0° .

После установки приспособления, теодолита и коллиматора шаровая опора каретки вводится в центровое отверстие переходника, установленного в контролируемый фланец n .

По корпусу каретки измерительной штанги считывается размер хорды L_n^Φ , по теодолиту — углы (α_n^Φ и γ_n^Φ), позволяющие подсчитать угол ν_n^Φ .

Искомые размеры определяются расчетом:

$$R_n^\Phi = L_n^\Phi \cdot \cos \gamma_n^\Phi; \quad h_n^\Phi = L_n^\Phi \cdot \sin \nu_n^\Phi; \quad H_n^\Phi = \Gamma_1 - h_n^\Phi,$$

где Γ_1 — размер от центрального фланца до базовой плоскости.

1.5.2. Измерения геометрических параметров сферы

Для измерения геометрических параметров сферических емкостей применяется фотограмметрический метод. Сущность этого метода сводится к тому, что с помощью оптической системы

на внутренней поверхности емкости воспроизводится ряд световых сечений (с помощью специального осветительного устройства), которые фотографируются широкоугольной фотокамерой. На фотограмме сечения воспроизводится также точка, обозначающая центр сечения. Полученные на светочувствительной пленке фотограммы сечений емкости являются объективными документами, воспроизводящими в определенном масштабе размеры, форму и расположение сечений. Для получения истинных значений требуемых параметров производится измерение радиусов окружностей сечений на фотограммах. Последующая математическая обработка результатов измерений на ЭВМ дает значения отклонений радиусов сферы от номинальных (чертежных), а также объемы и координаты центров масс по сечениям, шаровым сегментам, слоям и емкостям в целом.

Схема фотографирования сечений приведена на рис. 28. Измеряемая емкость *1* устанавливается на опорных кронштейнах *4* горизонтально. Основным узлом системы является проекционная головка *6*, устанавливаемая поочередно на верхнем и нижнем осевых фланцах емкости. На противоположном осевом фланце устанавливается топографический электрический аэрофотоаппарат. Оба эти узла устанавливаются на переходниках, соответствующих присоединительным местам фланцев емкостей. Переходники имеют устройства *3* и *7* для центрирования проекционной головки и фотокамеры по оси емкости и установки на заданный размер от ее центра. Для фиксации на фотограмме центры сечения и отметки для ориентации ее относительно системы координат по осям *I—IV* соответственно на проекционной головке и на боковой поверхности емкостей устанавливаются световые реперные марки, которые также фотографируются при съемке световых сечений.

Проекционное устройство головки представляет собой трубку с источником света — электролампой, диафрагмой, конденсором и объективом. Трубка с помощью делительного механизма устанавливается в различные угловые положения с градацией через 2° в пределах от -6° до $+46^\circ$ угла наклона к горизонту. Точность угловой установки весьма высока. Объектив трубки осветителя при повороте ее на заданный угол перемещается по копиру, соответствующему контролируемому емкости, рассчитанному так, чтобы изображение диафрагмы проектировалось на поверхности емкости в заданной точке резко сфокусированным. Резкий край блика на фотографии сечения будет служить точкой, от которой измеряется размер. После установки трубки на заданный угол она совершает движение вокруг вертикальной оси, описывая на поверхности емкости окружность светового сечения *5*, которое в это время фотографируется с противоположной стороны.

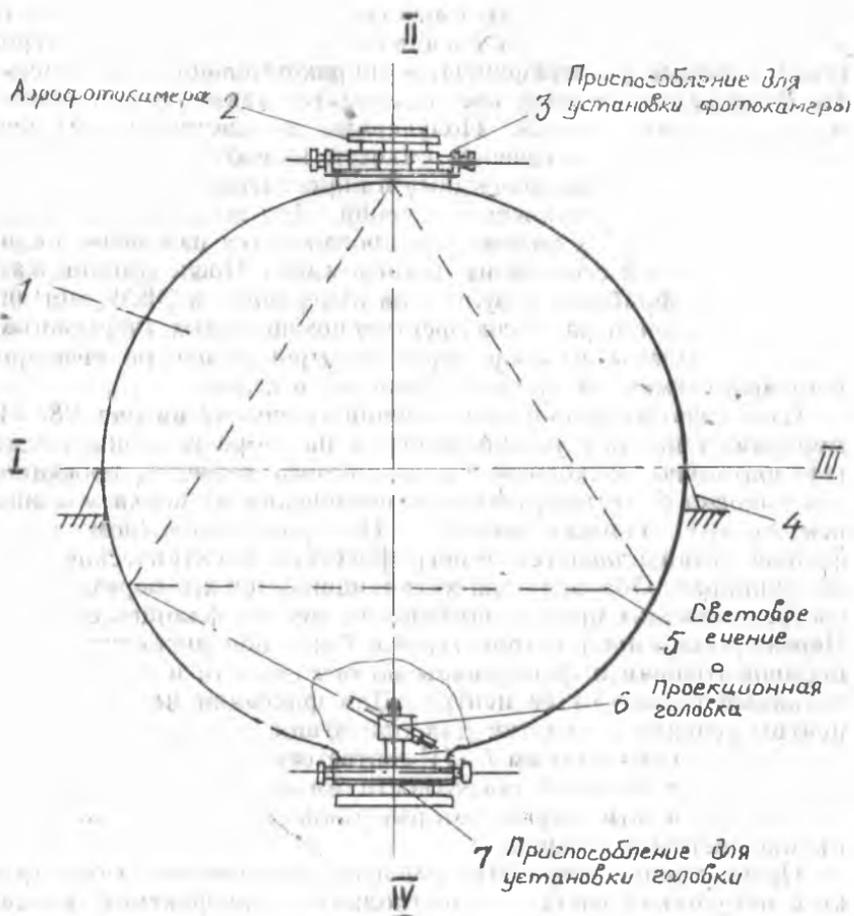


Рис. 28. Схема фотографирования сечений сферы: 1 — измеряемая емкость, 2 — аэрофотокамера, 3 — приспособление для установки фотокамеры, 4 — опорные вращающиеся, 5 — световое сечение, 6 — проекционная головка, 7 — приспособление для установки головки

Все движения рабочего цикла, начиная от установки, в положение от -6° до $+46^\circ$, описывание окружности светового сечения и фотографирование его полностью автоматизированы.

Для подробных измерений геометрии внутренней полости емкости достаточно 27 световых сечений на каждой полусфере.

Далее производится обработка фотограмм. Фотограмма является основным исходным документом, определяющим геометрические параметры сечения. На фотограмме измеряются радиусы сечений. Затем производится математическая обработка.

Вместе с данными, определяющими положение сечения по высоте и расположению, а также масштаб изображения, температурные и другие поправки размера радиусов сечения кодируются и записи приводятся к виду, удобному для ввода в ЭВМ. Для определения отклонения T -линии в каждом сечении достаточно измерить 36 радиусов; для определения объемов, центров масс изделий необходимо измерить 90—180 радиусов. Измерения радиусов производятся на универсальном микроскопе УИМ-24.

2. КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДНЕГАБАРИТНЫХ И МАЛОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

2.1. КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДНЕГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Обычно контроль изделий производится в горизонтальном положении. Горизонтальный контроль широко применяется в производстве летательных аппаратов, так как уменьшается потребная высота оснастки и цеха. При этом методе обмера продольная ось изделия располагается горизонтально, а привалочные плоскости разъемов (стыков) агрегатов — вертикально.

При горизонтальном контроле на общей сборке изделий измеряются такие параметры, как положение действительной оси, закрутка, положение привалочной плоскости и др.

Обмер геометрических параметров при этом производится в упрощенных стендах с помощью оптических средств для изделий средних габаритов ($D \times L \leq 3 \times 30$ м) или в специальных стендах для небольших летательных аппаратов ($D \times L \leq 1 \times 10$ м).

Прежде чем перейти к рассмотрению сущности горизонтального метода обмера, ознакомимся с необходимыми принятыми определениями.

Теоретическая ось изделия — это продольная ось симметрии теоретического изделия.

Базовая продольная ось изделия — это прямая, условно воспроизводящая теоретическую ось изделия и являющаяся базой для монтажа и контроля. За базовую продольную ось изделия принимается прямая, соединяющая геометрические центры двух базовых сечений.

Действительная продольная ось — пространственная кривая линия, соединяющая геометрические центры контролируемых сечений изделия.

Базовые сечения — поперечные сечения изделия, геометри-

ческие центры которых определяют положение базовой продольной оси.

Контролируемые сечения — поперечные сечения изделия, геометрические центры которых определяют действительную ось.

Центры сечений определяются по наружному диаметру изделия как среднее расстояние между диаметрами противоположных точек или с помощью реперных знаков.

Непрямолинейность действительной оси — это отклонение действительной оси от базовой в заданном контролируемом сечении.

Закрутка изделия — взаимный угловой поворот базовых сечений изделия вокруг продольной оси.

Рассмотрим характерные методы контроля геометрических параметров.

Контроль геометрических параметров изделия с помощью оптических средств

Этим методом измеряются следующие параметры: положение действительной продольной оси изделия, закрутка изделия.

Для замера указанных параметров применяется прецизионный нивелир НА-1.

Содержание процесса обмера рассмотрим на примере контроля указанных выше геометрических параметров.

Определение действительной продольной оси

Для определения прямолинейности действительной продольной оси изделия 17, вызванной производственными погрешностями, оно устанавливается в горизонтальное положение на двух поворотных опорах 13, расположенных вблизи базовых сечений. Схема контроля показана на рис. 29.

Перемещение изделия в пространстве обеспечивается с помощью специальных опорных тележек, позволяющих осуществлять поворот изделия вокруг продольной оси подвижными ложементами, подъем и опускание изделия — с помощью приводных механизмов.

Установка изделия в горизонтальное положение заключается в обеспечении плоскости нивелирования его. Плоскость нивелирования изделия должна быть параллельна плоскости, определяемой горизонтальной плоскостью трубы нивелира. Теоретическая плоскость нивелирования должна проходить через геометрические центры основного Л—Л базового и К—К вспомогательного базового сечений и совпадать с плоскостью I—III или II—IV.

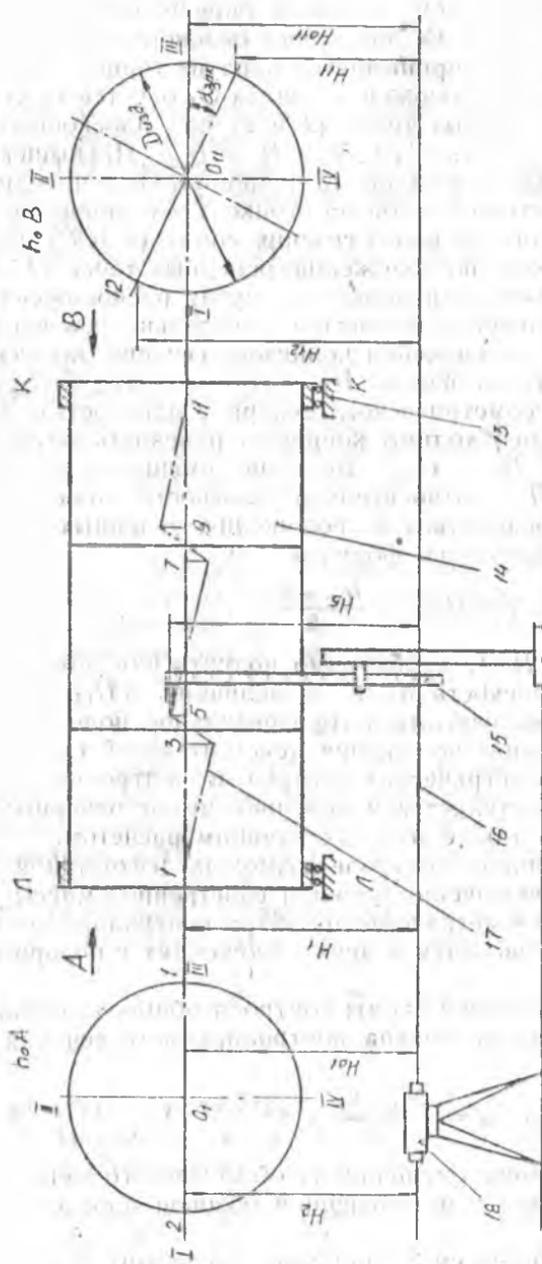


Рис. 29. Схема контроля геометрических параметров среднегабаритного изделия: с 1 по 12 — реперные (базовые) точки, 13 — обора поворотная, 14 — контрольный элемент, 15 — инвентарная линейка, 16 — инвентарная плоскость, 17 — действительная продольная ось изделия, 18 — инвентар; Л—Л и К—К — базовые сечения

Порядок установки изделия в горизонтальное положение заключается в следующем. Вначале определяется положение геометрического центра O_1 основного базового сечения. За основное базовое сечение принимается одна из торцевых плоскостей изделия. Исходное положение центра O_1 берется из условия, что превышения реперных точек (1 и 2) над плоскостью нивелирования будут равны, т. е. $H_1 = H_2 = H_{O_1}$. Превышения измеряются с помощью нивелира 18 и мерительной нивелировочной линейки 15, установленной на стойке. Геометрический центр O_{11} вспомогательного базового сечения совмещается с горизонтальной осью изделия по положению реперных точек (11 и 12). При этом могут быть разнообразные случаи расположения концевой вспомогательной плоскости относительно основной концевой. В случае расположения концевой сечения, когда превышения реперных точек равны $H_{11} = H_{12}$, но $H_{O_{11}} > H_{баз}(H_{O_1})$, для совмещения геометрического центра с плоскостью нивелирования изделия необходимо концевую плоскость опустить на величину $\Delta H_{O_{11}} = H_{11} - H_{баз}$. Величина смещения геометрического центра $\Delta H_{O_{11}}$ относительно плоскости нивелирования изделия будет определяться по положению реперных точек (11 и 12) и подсчитываться по формуле

$$\Delta H_{O_{11}} = H_{баз} - \frac{H_{11} + H_{12}}{2}.$$

Если $H_{O_{11}} \neq H_{баз}(H_{O_1})$, необходимо поднять или опустить концевую базовую плоскость $K-K$ на величину $\Delta H_{O_{11}}$.

После установки изделия в горизонтальное положение производится определение положения действительной оси по величине смещения геометрических центров по контролируемым сечениям. Это осуществляется измерением высот реперных точек в этих сечениях, а также соответствующим расчетом.

При горизонтальном контроле возможна деформация корпуса, поэтому для исключения влияния собственной массы на величину смещения геометрического центра контролируемого сечения контроль производится в двух положениях с поворотом изделия на 180° .

Исходя из показанной схемы контроля общая величина смещения геометрического центра контролируемого сечения будет определяться

$$\pm \Delta_{O_i \text{ общ}} = \frac{\Delta'_{O_i} + \Delta''_{O_i}}{2},$$

где $\Delta_{O_i \text{ общ}}$ — величина смещения геометрического центра контролируемого сечения в определенной базовой плоскости I—III или II—IV;

Δ'_{O_i} и Δ''_{O_i} — величины смещения геометрического центра конт-

ролируемого сечения в двух положениях агрегата, включая деформацию от массы:

$$\begin{aligned} \pm \Delta'_{oi} &= \pm \Delta'_{oit} + \Delta_{oim}; \\ \pm \Delta''_{oi} &= \pm \Delta''_{oit} + \Delta_{oim}, \end{aligned}$$

где Δ'_{oit} и Δ''_{oit} — величины смещения геометрического центра контролируемого сечения в I и II положениях агрегата (с поворотом на 180°) вследствие выполнения технологического процесса; Δ_{oim} — величина смещения центра сечения от воздействия массы изделия.

Величина технологической погрешности определяется

$$\pm \Delta_{oit} = \frac{\Delta'_{oi} - \Delta''_{oi}}{2}$$

Эта погрешность и определяет смещение теоретической оси в контролируемом сечении.

Измерение смещений производится в двух плоскостях I—III и II—IV. Результирующая величина непрямолинейности оси в данном сечении будет определяться по формуле

$$\Delta_{oit \Sigma} = \sqrt{\Delta^2_{oit \text{ I-III}} + \Delta^2_{oit \text{ II-IV}}}$$

По этим же погрешностям можно определить и направление смещения действительной оси от теоретической.

По результатам замеров можно построить графически действительную ось изделия 17 и сравнить полученные отклонения с допустимыми.

Определение величины закрутки агрегата

Величина закрутки агрегата определяется поворотом определенных сечений его относительно базового сечения (угол $\alpha_{зак}$).

Обычно величина закрутки задается в допустимых линейных перемещениях ΔH_{11} , ΔH_{12} и т. д. отдельных точек соответствующего сечения относительно подобных точек базового сечения. Эти перемещения довольно просто замеряются с помощью нивелира и величина закрутки (S) рассчитывается по формуле

$$S_{к-к, л-л} = \frac{H_{11} - H_{12}}{2}$$

или $\text{tg } \alpha_{зак} = S/R_{изд}$, где $R_{изд}$ — радиус изделия в сечении К—К.

2.2. КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАЛОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ В СПЕЦИАЛЬНОМ КОНТРОЛЬНОМ СТЕНДЕ

Обмер в стендах чаще применяется для изделий небольших размеров ($L \times D = 10...15 \text{ м} \times 500...1000 \text{ мм}$), обладающих достаточно высокой жесткостью.

Рассмотрим процесс контроля на примерах сборки изделия и агрегата.

2.2.1. Контроль геометрических параметров самолета в стенде

Контрольный стенд (рис. 30) представляет из себя основание в виде жестких плит 1, на которых установлены роликовые опоры 8 для установки изделия 4 в горизонтальное положение. Для замера смещений реперных точек изделия, характеризующих точность его, на стенде имеется комплект реперных фиксаторов 7, расположенных по базовому А—А и концевому сечениям В—В изделия, а также промежуточным сечениям и другим характерным точкам.

Плоскость, проходящая через центры базового и концевого сечений, через средние положения между реперными точками, является нивелировочной. Относительно нее измеряется положение контролируемых параметров.

В данном стенде производится измерение следующих геометрических параметров:

закрутка сечений В—В и Б—Б относительно базового А—А, биение носовой части 2 фюзеляжа.

биение точки «а» по вершине макета 6, параллельность плоскостей крыльев 5 строительным осям, перпендикулярность плоскостей крыльев.

Порядок контроля в стенде производится следующим образом. Изделие устанавливается с помощью монтажных колец 3 на роликовые опоры 8. Затем выставляется в положение контроля по базовым плоскостям Б—Б и В—В и строительным плоскостям I—III и II+IV. В первом положении изделия, зафиксированного по плоскости Б, замеряется закрутка сечения В—В и Б—Б относительно сечения А—А. Биение «а» замеряется с помощью макета двигателя 6, который пристыковывается к хвостовому отсеку.

Величина закрутки определяется по полуразности расстояний между рисками кольца макета, измеряемых с помощью реперных фиксаторов. Положение точки «а» относительно оси изделия определяется при совмещении реперных фиксаторов с вершиной конуса макета.

Смещение центра сечения В—В относительно Б—Б устанавливается из полусуммы отсчетов, снятых с барабанов при совмещении реперных фиксаторов с реперными точками сечения В—В.

Затем производится поворот изделия на 90° во второе положение и повторяется контроль и подсчет.

Положение крыльев определяется по положению реперных (нивелировочных) точек на плоскостях (см. работу [18]).

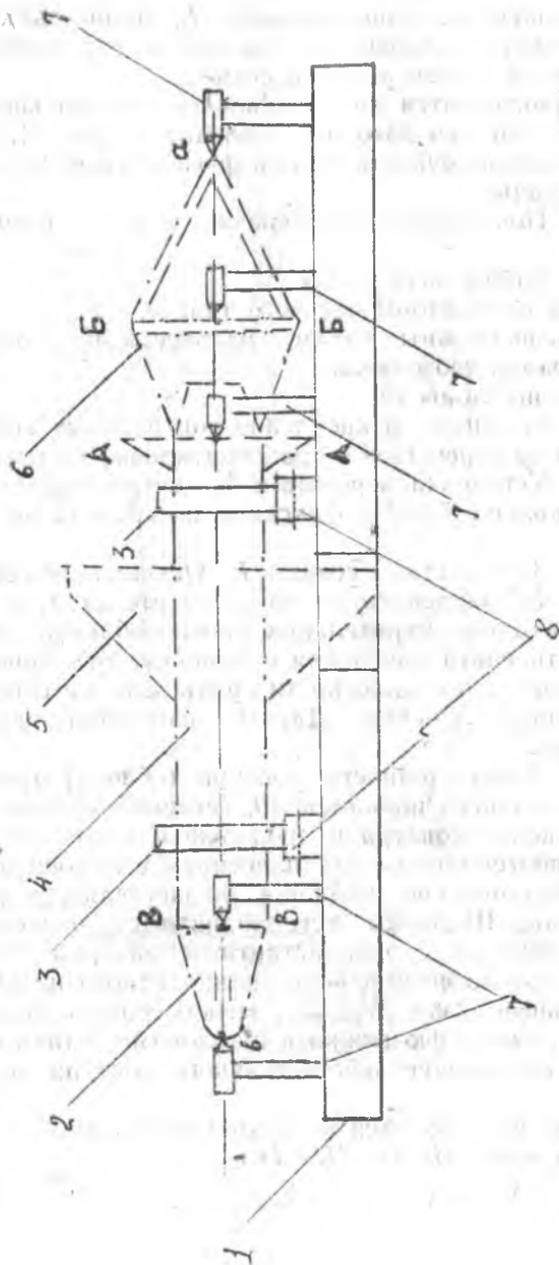


Рис. 30. Схема контроля геометрических параметров малогабаритных изделий: 1 — плита, 2 — обкатка, 3 — кольца монтажные, 4 — изделие, 5 — крылья, 6 — макет ДУ, 7 — реперный фиксатор, 8 — роликовые опоры

2.2.2. Процесс контроля точности секции фюзеляжа

Параметры контроля: длина секции, L , точность контура (обвода), Δ_{ik} , закрутка плоскостей разъемов, положение привалочных плоскостей узлов разъема секции.

Измерения производятся на специальном контрольном стапеле (стенде), устройство которого показано на рис. 31.

Процесс измерения точности секции фюзеляжа производится в следующем порядке.

1. Операция. Подготовка контрольного стапеля (стенда) к работе:

- а) проверить работу всех узлов;
- б) установить индикаторы часового типа 4,
- в) установить подвижные бабки 2 на расстояние, соответствующее длине секции фюзеляжа,
- г) установить шаблоны 10.

2. Операция. Установка и крепление контрольных колец 5 и 7 по узлам разъема агрегата 6 и транспортировка к стенду.

3. Операция. Установка агрегата 6 в контрольный стапель на катки 8 под кольца 5 и 7 и фиксация штырем 12 по строительной оси.

4. Операция. Замер длины секции L . Осуществляется с помощью линейки 11, закрепленной на столе стенда 1, а также специальных переходных мерительных приспособлений, которые дают возможность снять показания с линейки. Эти приспособления нужны потому, что плоскости разъемов не совпадают с нулевым делением линейки. Данные измерений заносятся в паспорт изделия.

5. Операция. Замер точности контура (обвода) (рис. 31). Производится с помощью шаблонов 10, устанавливаемых в теоретическое положение контура в продольной плоскости. Шаблоны устанавливаются по базовым пластинам с помощью штанген-рейсмуса. Перемещение шаблонов осуществляется регулируемые опорами. Шаблоны устанавливаются относительно теоретического контура с эквидистантным зазором ($\Delta_{\text{заз ном}}$) (5...15 мм). С помощью специального клиновидного щупа измеряют действительный зазор $\Delta_{i \text{ заз факт}}$ между рядом отдельных указанных точек обвода фюзеляжа и шаблонами и таким образом определяют отклонение действительного контура от теоретического.

Эти измерения производятся в четырех положениях изделия по строительным осям: (I—II—III—IV)

$$\Delta_{ik} = \Delta_{i \text{ заз ном}} - \Delta_{i \text{ заз факт}}$$

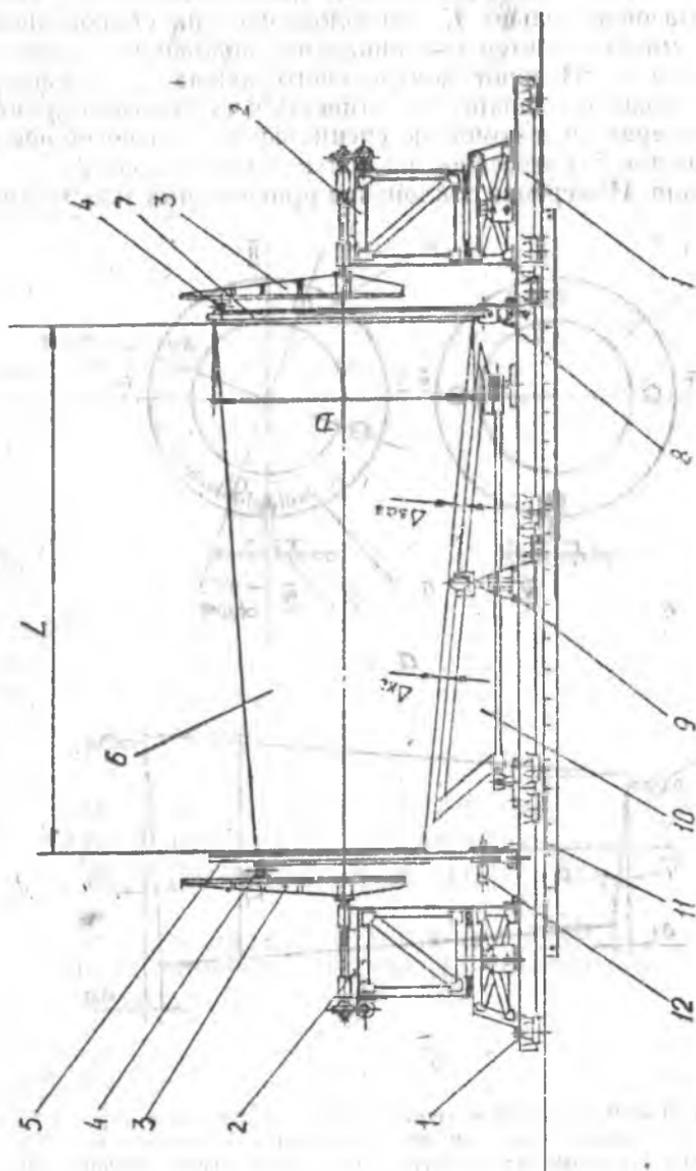


Рис. 31. Конструктивная схема контрольного стэнда: 1 — основание (стол) стэнда, 2 — подвижные бабки, 3 — вращающаяся штанга, 4 — индикатор часового тнпа, 5 — обмерочное кольцо (ОК-1), 6 — контролируемое изделие, 7 — обмерочное кольцо (ОК-2), 8, 9 — катки (подвижные опоры), 10 — шаблон, 11 — линейка, 12 — штыревой фиксатор

6. Операция. Замер закрутки плоскостей разъемов секции (рис. 32). Производится с помощью контрольных обмерочных колец 1 и 2 и специального нониусного приспособления 5 с указателем 4. Базовое кольцо 1, расположенное на стыковочном цпангоуте, устанавливается в номинальное положение и фиксируется штырем 6. Поворот контрольного кольца 2, расположенного на концевом шпангоуте относительно горизонтальной оси $\alpha_{закр}$, измеряется с помощью специального приспособления по угловой шкале 5, нанесенной на контрольном кольце 2.

7. Операция. Измерение отклонения привалочных плоскостей

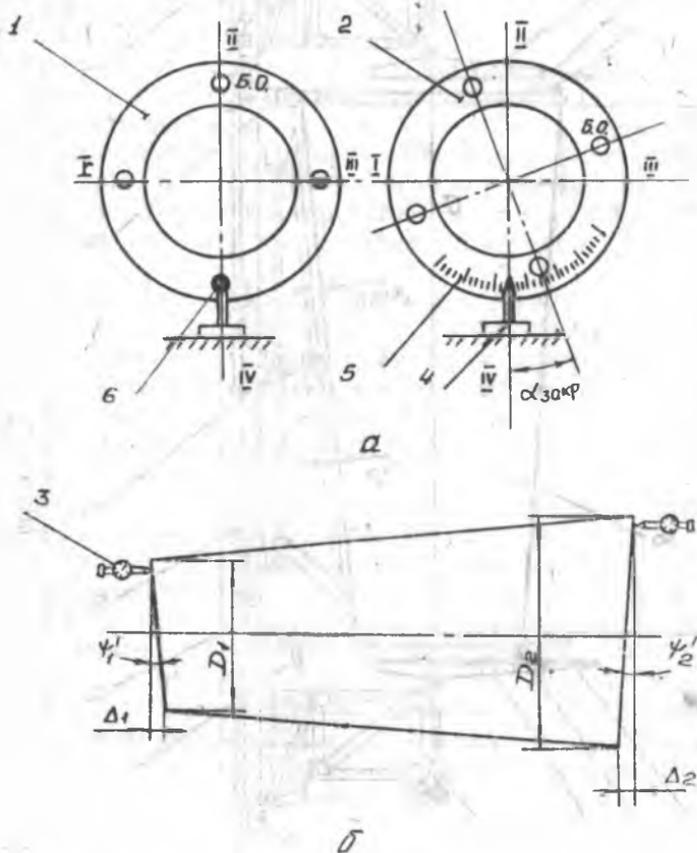


Рис. 32. Схемы измерения геометрических параметров агрегатов: а — замер угла закрутки, б — замер угла отклонения плоскости стыковых шпангоутов; 1 — обмерочное кольцо (ОК-1), 2 — обмерочное кольцо (ОК-2), 3 — индикатор часового типа, 4 — указатель угла закрутки, 5 — шкала угловая с нониусом, 6 — штыревой фиксатор

от вертикальной плоскости. Производится с помощью индикаторного устройства 4 поворотом его относительно четырех точек плоскости разъема, расположенных на строительных осях I, II, III, IV. За нулевую базу отсчета берется точка I (Δ_1).

Порядок замера следующий: фиксируется положение (смещение) точки Δ_1 и устанавливается на ноль индикатор;

измеряется смещение остальных точек индикатора Δ_{II} , Δ_{III} и Δ_{IV} .

Наибольшая величина смещения определяется по направлениям строительных осей:

$$\Delta_{I-III} = \Delta_1 - \Delta_{III};$$

$$\Delta_{II-IV} = \Delta_{II} - \Delta_{IV}.$$

Величина допустимого отклонения определяется по наибольшему смещению относительно нулевой точки.

Результаты измерений заносятся в паспорт.

Величина углового смещения определяется как

$$\text{tg } \Psi_1' = \Delta_{I-III} / D_1;$$

$$\text{tg } \Psi_1'' = \Delta_{II-IV} / L_1,$$

где Δ_{I-III} и Δ_{II-IV} — наибольшая величина смещения точек прилощной плоскости агрегата по направлению строительных осей I—III и II—IV;

D_1 — диаметр стыкового шпангоута изделия;

Ψ_1' и Ψ_1'' — углы отклонения 1-го стыкового шпангоута от вертикали, замеренные по двум направлениям базовых осей изделия I—III и II—IV.

3. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЦЕССЕ АГРЕГАТНОЙ И ОБЩЕЙ СБОРКИ ЛА

3.1. БЕСКОНТАКТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ЦЕНТРИРУЮЩИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ (ЛЦИС)

За последние годы в технологию производства летательных аппаратов все более активно вторгаются лазерные методы и средства. Широкое применение лазерных измерительных систем определяется, с одной стороны, развитием машинных методов проектирования ЛА и автоматизированным воспроизведением формы и деталей на оборудовании с числовым программным управлением, с другой стороны, увеличением размеров ЛА и по-

вышением требований к точности воспроизведения геометрических параметров деталей, узлов и агрегатов изделий [1, 2, 3, 11, 17].

Связать в единый комплекс машинные методы проектирования изделий с автоматизированным воспроизведением его отдельных конструктивных элементов позволяют бесконтактные методы контроля геометрических параметров изделий, узлов и агрегатов, которым в настоящее время придается первостепенное значение.

Среди бесконтактных методов контроля лазерные методы являются наиболее перспективными и бурно развивающимися. Они позволяют автоматизировать процесс контроля и непосредственно вводить результаты измерений в ЭВМ для сопоставления с размерами чертежа и эталонных деталей.

Лазерные измерительные средства являются элементами обратной связи при автоматизированном воспроизведении формы изделия, без которых невозможно дальнейшее успешное развитие программной обработки и оборудования с ЧПУ.

Применение ЛЦИС при сборке агрегатов и контроле геометрических параметров конструкции ЛА позволяет:

- а) повысить точность установки деталей и их взаимную увязку в два раза,
- б) повысить производительность труда при сборке отдельных узлов в пять раз,
- в) обеспечить снижение массы и упрощение конструкции сборочной оснастки,
- г) расширить применение координатной сборки при произ-

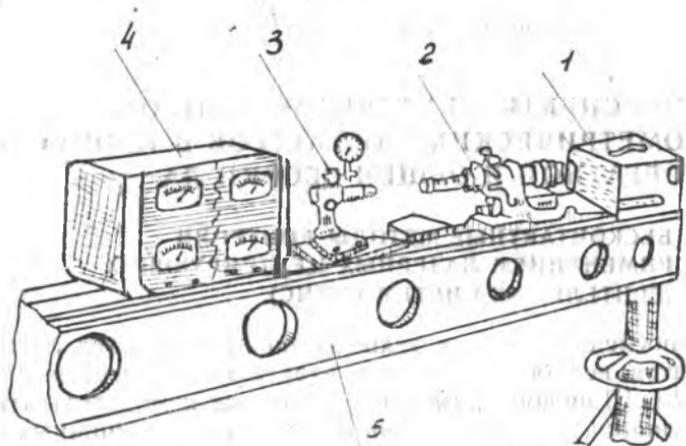


Рис. 33. Лазерная центрирующая измерительная система: 1 — источник питания, 2 — лазерный коллимированный излучатель, 3 — позиционно-чувствительный знак, 4 — пульт, 5 — дистанционная линейка

водстве изделий. Преимущества данного способа заключаются в том, что в процессе сборки производится активный контроль расположения собираемых деталей.

Лазерная центрирующая измерительная система (рис. 33) состоит из следующих приборов и устройств:

лазерного коллимированного излучателя 2 с источником стабилизированного питания 1,

позиционно-чувствительного целевого знака ПЧЦЗ 3 с индикаторным и стрелочным устройствами (приборами) 4,

системы дистанционных линеек 5, позволяющих встроить ЛЦИС в координатно-оптическую систему КОС взамен оптических приборов и комплекта базовых технологических координатных плит.

Луч лазера является базой для выставления деталей и узлов в процессе сборки летательного аппарата.

Позиционно-чувствительный целевой знак (рис. 34) является фотоэлектрическим приемником излучения и служит для точного определения положения энергетической оси лазерного луча относительно оси целевого знака.

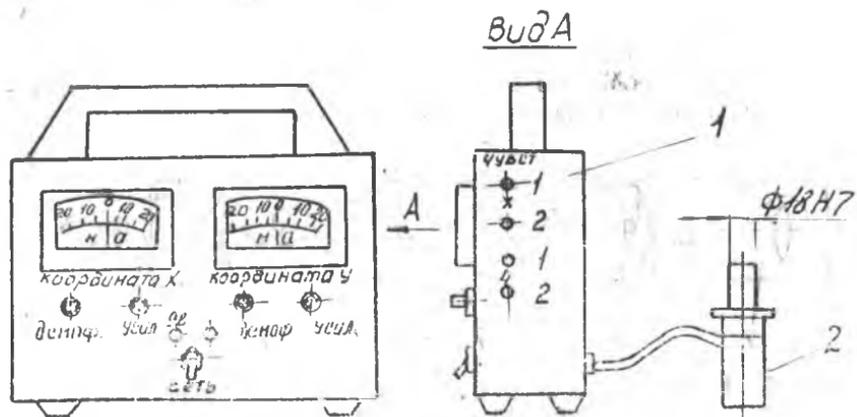


Рис. 34. Позиционно-чувствительный целевой знак (ПЧЦЗ): 1 — блок индикации, 2 — фотоприемник

ПЧЦЗ вмонтирован в трубку 2 и может быть вставлен в стандартное отверстие сборочной оснастки.

Отклонение луча от центра ПЧЦЗ регистрируется блоком индикации 1 или миллиамперметром, проградуированным в миллиметрах, и по отклонению стрелки определяют отклонение луча и направление, в которое необходимо переместить луч

для его правильного положения. На рис. 35 показан знак целевой визуальный (ВЦЗ).

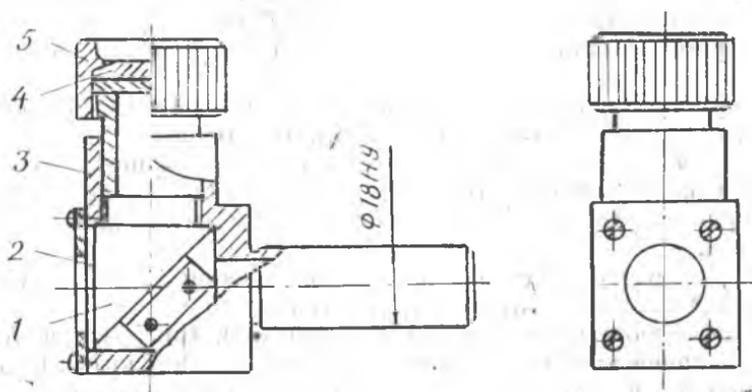


Рис. 35. Знак целевой визуальный (ВЦЗ): 1 — трехгранная призма, 2 — сетка, 3 — корпус, 4 — луна, 5 — винт

Лазерный коллимированный излучатель (рис. 36) состоит из газового гелий-неонового лазера 4 и простейшего коллиматора 7. Лазер состоит из оптического резонатора, образованного

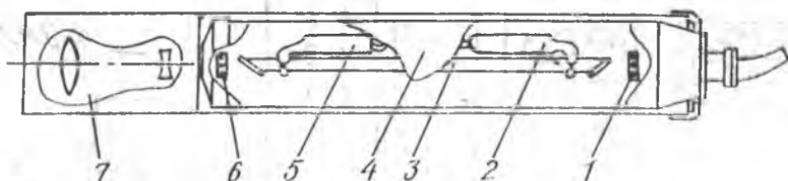


Рис. 36. Лазерный коллимированный излучатель: 1 — заднее зеркало, 2 — катод, 3 — газоразрядная трубка, 4 — лазер ЛГ-56, 5 — анод, 6 — переднее зеркало резонатора, 7 — коллиматор

зеркалами 1 и 6 активного элемента, заключенного в газоразрядной трубке 3 с подогреваемым катодом 2 и анодом 5. Газоразрядная трубка наполнена смесью неона и гелия. Торцы трубки отшлифованы под углом и закрыты выходными окнами из оптического стекла. На одном конце кожуха со стороны сферического зеркала расположен разъем (через который подводится высокое накальное напряжение к трубке).

Излучение оптических квантовых генераторов (лазеров) характеризуется рядом положительных качеств: высокой монохро-

матичностью, узкой направленностью луча, когерентностью излучения, высокой степенью поляризации.

Лазерный коллимированный излучатель (ЛКИ) предназначен для создания опорного лазерного луча, энергетическая ось которого принята за эталон прямолинейности.

На деталях и узлах, подлежащих монтажу или контролю с использованием ЛЦИС, закрепляют рабочие целевые знаки. При этом могут быть применены ПЧЦЗ со световой и стрелочной индикацией, а также целевые знаки с марками в виде концентрических окружностей. Совмещая энергетическую ось луча лазера с центром целевого знака, оптическое положение последнего определяют:

а) при использовании блока световой индикации — на его передней панели должны гореть 4 лампочки,

б) при использовании блока со стрелочной индикацией — стрелка прибора должна совпадать с риской нуля шкалы,

в) при визуальном отсчете по совпадению центра концентрических окружностей целевого знака с яркой точкой свечения луча.

3.1.1. Стыковка и нивелирование изделия на базе ЛЦИС

Для контроля геометрических параметров крупногабаритных изделий, стыковки агрегатов и их нивелирования применяется лазерно-центрирующая измерительная система ЛЦИС-ЗН.

В состав ЛЦИС-ЗН входят следующие устройства:

высокоточный лазерный нивелир ЛГС-1М для создания горизонтальной световой плоскости,

устройство телескопическое для визуального контроля реперных точек хвостового оперения,

линейка нивелировочная,

вспомогательная установочная оснастка.

Основные технические данные системы:

Пределы измерения, м	1—100;
Точность измерения, визуально, мм	$\pm 0,1$;
Лазерный излучатель	Лазер типа ОКГ-13.

Дадим краткое описание отдельных устройств.

Лазерный нивелир ЛГС-1М предназначен для высокоточного нивелирования путем создания в пространстве горизонтальных светлых поверхностей (рис. 37). Основными элементами являются: высокоточный нивелир Н-05 (4) и лазерный модуль 3, в котором расположен коллиматор-интерферометр 2 кольцевой структуры пучка излучения и одномодовый гелий-неоновый ла-

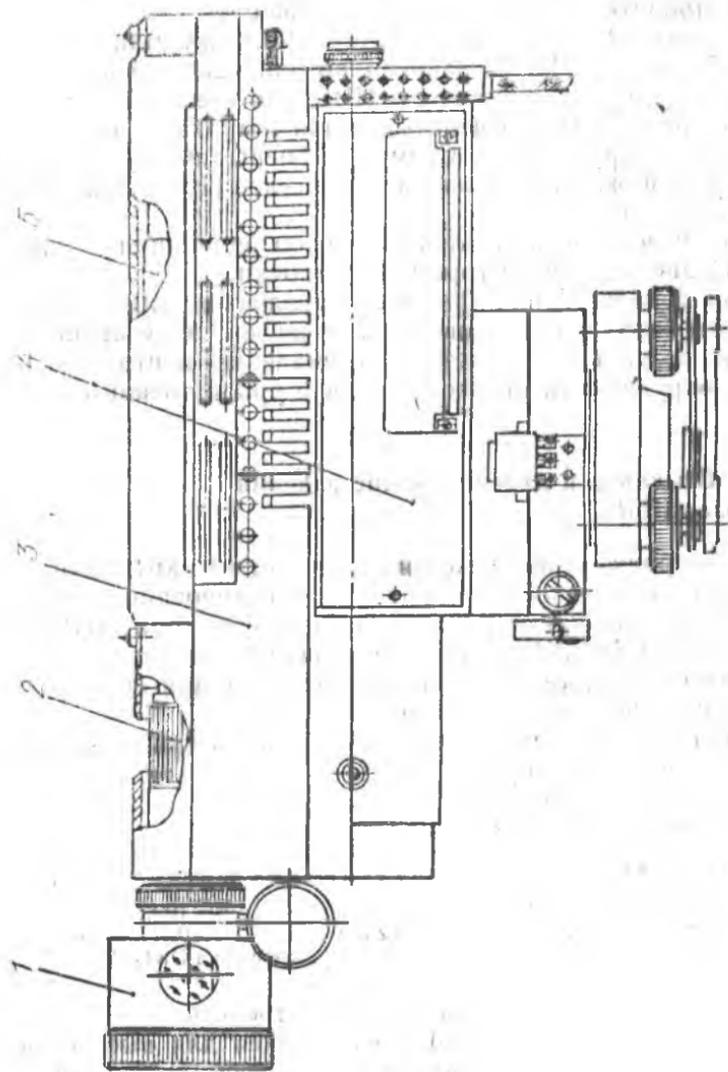


Рис. 36. Лазерный нивелир ЛГС-1М: 1 — насадка оптическая; 2 — коллиматор-интер-
фьюметр, 3 — модуль лазерный, 4 — нивелир Н-0,5, 5 — лазер типа ОК1-13

зер ОКГ-13 (5). Лазерный модуль крепится к корпусу нивелира сопряжением диаметров зрительной трубы и к отверстиям во фланцах по торцам модуля. Крепление коллиматора осуществляется на сферические винты. Лазер ОКГ-13 крепится к передней и задней подвижным опорам модуля через цапфы. Жесткое крепление коллиматора по отношению к оптической системе нивелира и наличие опор лазера приводит к резкому снижению влияния неустойчивости диаграммы направленности на точность центрирования. В целях снижения влияния температур на работу прибора в конструкции предусмотрены радиаторы и окна охлаждения. Юстировка лазерного нивелира ЛГС-1М заключается в установке оптической оси коллиматора параллельно оси цилиндрического уровня.

Устройство для разворота луча предназначено для разворота луча на 90° . Конструктивно оно выполняется в виде насадки 1 (рис. 38) в корпус 3, в который вставлена пентапризма 2. Крепление на нивелир или поворотное приспособление осуществляется цапговым зажимом 4 и гайкой 5. Кроме того, при необходимости пентапризма на специальной стойке может компоноваться на раздвижном штативе ШРТ-1М вместе с нивелиром ЛГС-1М (рис. 39).

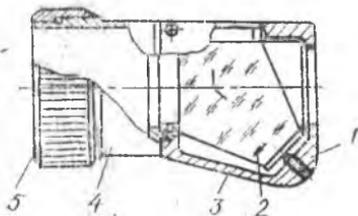


Рис. 38. Устройство для разворота луча: 1 — насадка, 2 — пентапризма, 3 — корпус, 4 — цапговый зажим, 5 — гайка

Нивелировочная линейка (рис. 40) служит для отсчета превышений реперных точек. Она состоит из трех секций (2, 3, 4), соединенных на штифтах, и штанги с измерительной линейкой. Секции линейки в зоне отверстий под штыри имеют кольцевые риски конусов, позволяющих производить отсчет замеров положения нивелировочных точек агрегатов с точностью 0,1 мм. В головной части верхней секции линейки имеется съемный переходник 1 с вертикальной и горизонтальной иглами. Штанга 6 с измерительной шкалой перемещается вдоль нижней секции 4 линейки и фиксируется в требуемом положении двумя цапговыми зажимами 7. Штанги соединены между собой замками.

Теперь рассмотрим порядок стыковки агрегатов, нивелирования и контроля на ряде примеров.

Для повышения точности расположения агрегатов ЛА относительно строительных осей в процессе стыковки его отдельных частей используют систему опорных лучей. Преимущества

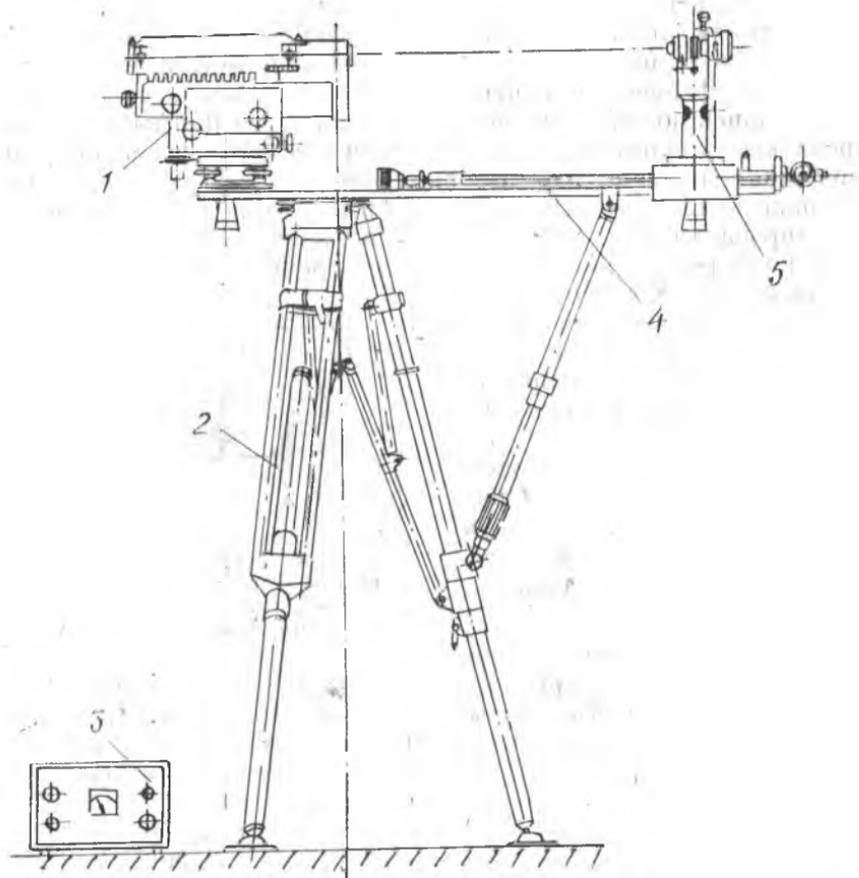


Рис. 39. Компонентная схема основных блоков приборов ЛЦИС: 1 — лазерный нивелир ЛГС-1М, 2 — штатив раздвижной ШРТ-1М, 3 — пульт, 4 — каретка, 5 — стойка с пентапризмой

этого процесса проявляются при стыковке агрегатов тяжелых типов ЛА.

В качестве нивелировочных средств используют высокоточные лазерные нивелиры типа ЛГС-1 (см. рис. 37) или излучатели ЛЦИС-3 (рис. 41), которые ориентируют в вертикальные или горизонтальные положения базированием приборов системы на отверстия технологических координатных плит (ТКП) (рис. 42), координатные мерные линейки или стойки. Лазерное излучение сканируют пентапризмой (рис. 38), позволяющей создать в пространстве световую плоскость, относительно которой

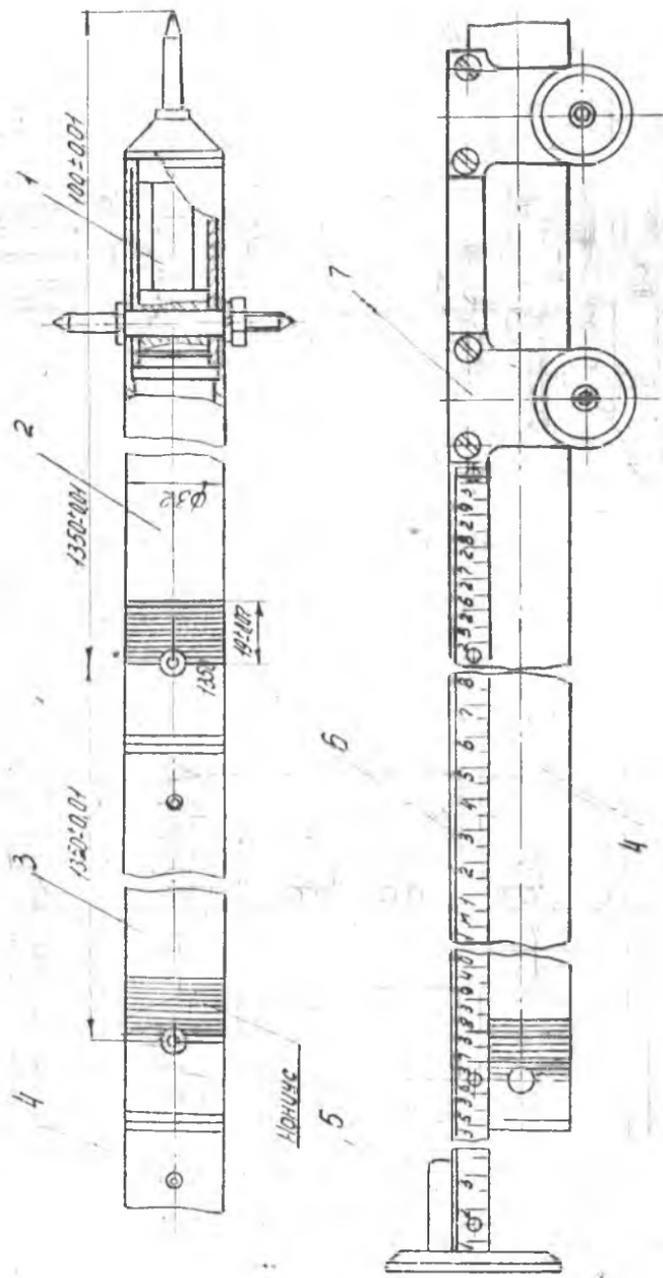


Рис. 40. Нивелировочная линейка: 1 — переходник с иглами, 2, 3, 4 — секции линейки, 5 — подпятник, 6 — штанга с измерительной шкалой, 7 — зажим

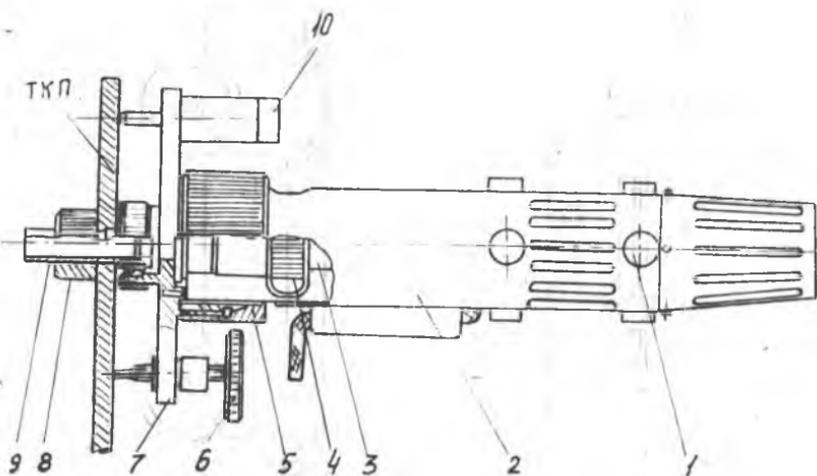


Рис. 41. Излучатель ЛЦИС-3: 1 — юстировочные винты, 2 — корпус, 3 — лазер типа ОКГ-13, 4 — коллиматор-интерферометр, 5 — цанговый зажим, 6 — микровинты, 7 — кронштейн, 8 — гайка, 9 — втулка, 10 — опорные фиксаторы, ТКП — технологическая координатная плита

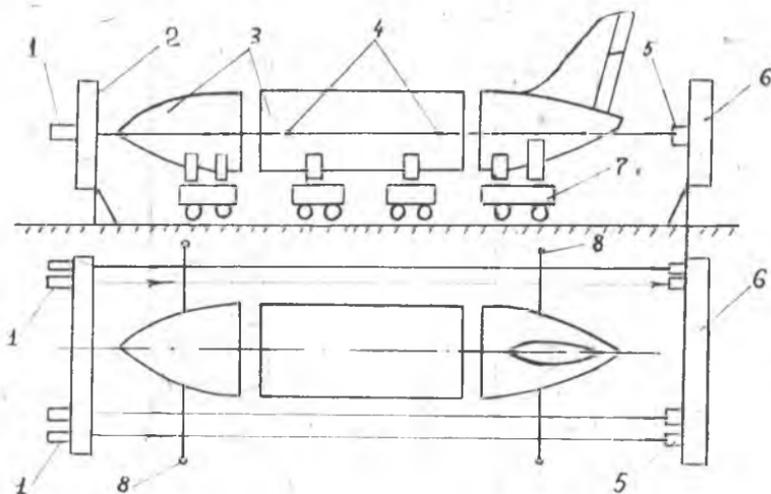


Рис. 42. Стыковка отсеков фюзеляжа: 1 — лазеры, 2, 6 — технологические координатные плиты (ТКП), 3, 4 — реперные точки, 5 — ПЦЗ базовые, 7 — стыковочные тележки, 8 — реперный манипулятор

выверяют расположение нивелировочных баз агрегатов. В качестве целевых знаков используют ВЦЗ и ПЧЦЗ (рис. 34 и 35) с однокоординатным отсчетом измеряемых параметров.

При проектировании ЛА конструктор задает большое количество базовых точек, которые обеспечивают в процессе стыковки изделия необходимое расположение агрегатов в однозначном полетном положении.

В то же время размеры проверяемого летательного аппарата относительно базовых точек находятся в прямой зависимости от точности изготовления того или иного агрегата и, следовательно, искажают истинные нивелировочные данные. В связи с этим при нивелировке выбирают самое минимальное число точек на агрегатах, что упрощает нивелирование, но не повышает его точность.

3.1.2. Стыковка отсеков фюзеляжа (рис. 42)

По этой схеме фюзеляж поступает на стыковку тремя частями: носовой, средней и хвостовой. Средняя часть может быть единой с неразъемным крылом. Для стыковки отсеков создают горизонтальную базу из нескольких опорных лучей ЛЦИС. При этом лазерные излучатели 1 базируются на отверстиях ТКП 2, заранее установленные в единой горизонтальной плоскости. Используя реперный манипулятор 8, выставляют отсеки на стыковочных тележках 7 до совмещения строительной горизонтали фюзеляжа с опорными лучами ЛЦИС. После чего соединяют секции в единый агрегат. Выставление агрегатов в полетное положение может обеспечиваться также ЛГС-1.

3.1.3. Проверка оси симметрии самолета и вертикального положения киля

При проектировании самолетов положение киля задают реперными точками относительно строительной вертикальной плоскости самолета (фюзеляжа), поэтому перед проверкой киля с помощью ЛЦИС фюзеляж должен быть выставлен в полетное положение (рис. 43). Проверяют с помощью лазерных излучателей с пентапризмой, из которых один 3, установленный на стойке 4, служит для контроля оси симметрии самолета, а два других 5, эквидистантно отстоящих от вертикальной плоскости, обеспечивают контроль вертикального положения киля. Предварительное положение фюзеляжа самолета определяется с помощью нивелира, нивелировочных линеек 1 и отвесов 2.

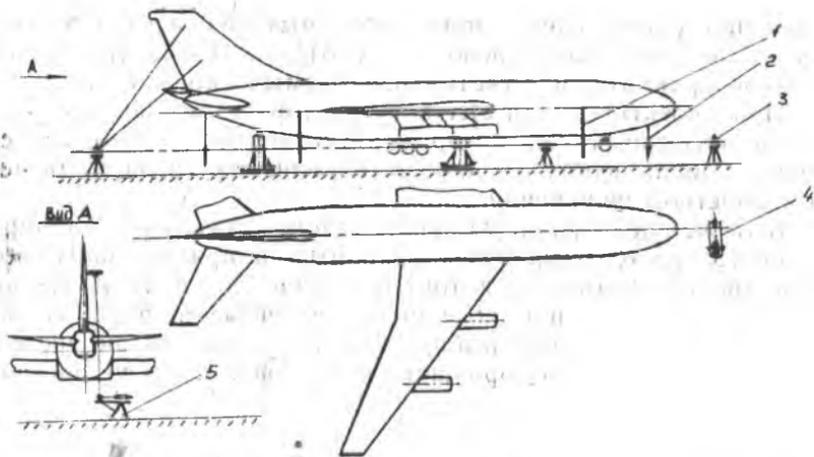


Рис. 43. Проверка оси симметрии самолета и вертикального положения киля: 1 — нивелировочная линейка, 2 — отвес, 3, 5 — лазерные излучатели с пентапризмами, 4 — стойка ШРТ-1М

3.1.4. Контроль обводов аэродинамических поверхностей агрегатов ЛА

Для этих целей применяется лазерная центрирующая система ЛЦИС-ЗАП. Метод контроля основан на измерении отклонений отдельных сечений проверяемой поверхности относительно опорных лазерных лучей, расположенных эквидистантно аэродинамической поверхности агрегата. Компоночная схема основных блоков системы показана на рис. 44. Для обеспечения данного метода контроля устанавливают две технологические координатные плиты ТКП 5 и 9, на одной из которых укрепляют координатор опорного луча 1, на другой — базовый целевой знак 6. Координатор опорного луча предназначен для ориентации сформированного коллиматором излучения во взаимно перпендикулярных плоскостях контролируемого агрегата изделия. Координатор 1 состоит из излучателя 2, пентапризмы 10 с шаровой опорой и механизма настройки 11. В качестве источника излучения применяется лазер типа ОКГ-13. Для устойчивого положения в вертикальной плоскости координатор крепится к шаблону или ТКП с помощью скобы и винта 8. Базовый целевой знак ПЧЦЗ показан на рис. 34.

В процессе контроля обводов щуп измерителя отклонений 7 устанавливают в проверяемые точки и по показаниям блока индикации 4 определяют отклонения воспроизведенного контура агрегата 3. При выполнении контрольных операций щуп изме-

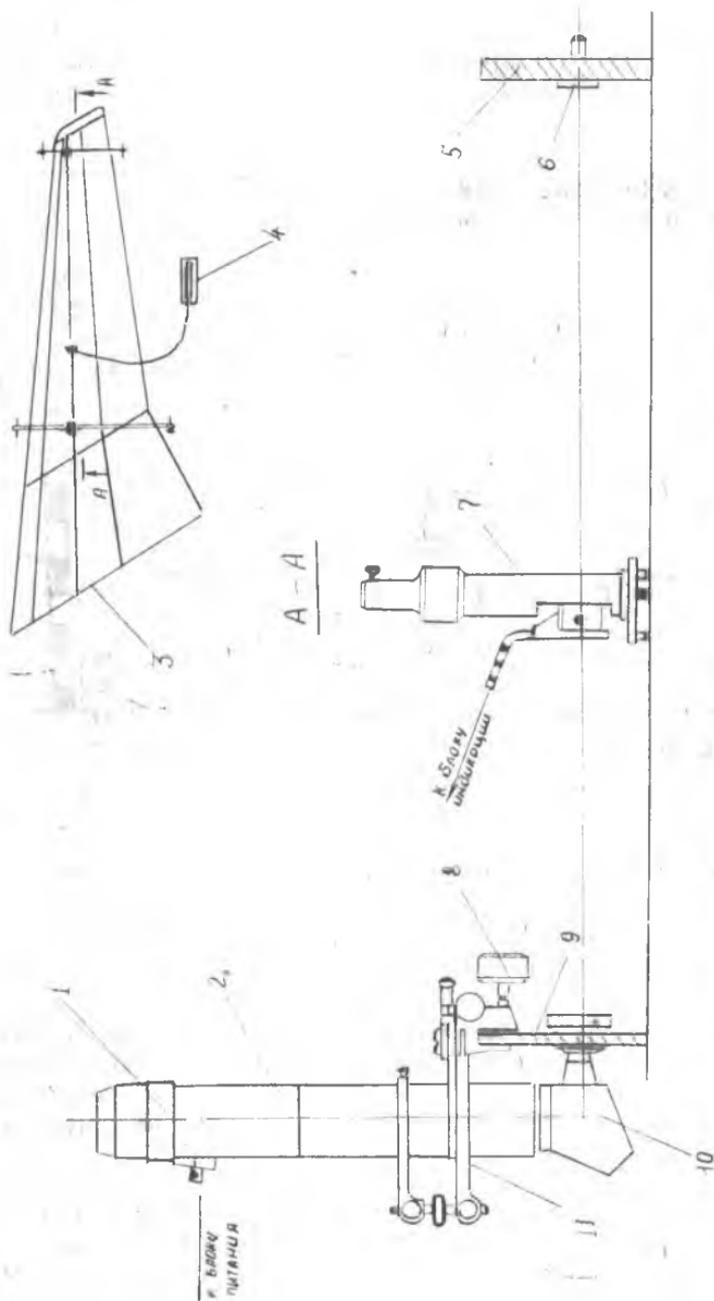


Рис. 44. Компонировочная схема блоков контроля обводов аэродинамических поверхностей агрегата ЛА:
 1 — координатор опорного луча, 2 — излучатель, 3 — измерительный агрегат, 4 — блок индикации,
 5, 9 — ТКП; 6 — базовый целевой знак, 7 — шуп измерителя отклонений, 8 — винт, 10 — пентапризма,
 11 — механизм настройки

рителя отклонений перемещается по процентным лучам и хорде агрегата вместе с координатором опорного луча и целевым знаком.

ЛЦИС-ЗАП позволяет проверить контур агрегата по всем заданным сечениям по процентам хорды и плавность контура по размаху в диапазоне измерений до 50 мм с точностью $\pm 0,05$ мм.

3.1.5. Проверка расположения реперных точек в плановой проекции самолета

Нивелировка самолета дает возможность выверить только высотные положения реперных точек, что не гарантирует правильного расположения агрегатов при стыковке. Для точного расположения агрегатов рекомендуется производить контроль реперных точек в плановой проекции самолета (рис. 45). В си-

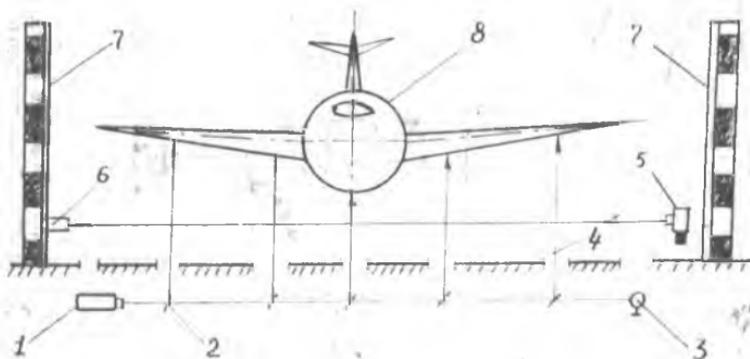


Рис. 45. Проверка расположения реперных точек в плановой проекции самолета: 1 — лазерный излучатель, 2 — пентапризма, 3 — базовый ПЧЦЗ, 4 — вертикальные световые лучи, 5 — лазерный излучатель с пентапризмой, 6 — ПЧЦЗ, 7 — координатные линейки, 8 — фюзеляж

стеме предусмотрены световоды 4, размещенные по строительным осям в плановой проекции самолета с перпендикулярными этой плоскости выводами лазерных лучей в местах расположения реперных точек. Лазерные излучатели 1 и 5 ориентируются по ПЧЦЗ 3 и 6 с помощью координатных линеек 7.

Стыковку агрегатов начинают с фюзеляжа 8, который выставляют в горизонтальное положение на гидравлических подъемниках так, чтобы лазерные лучи, идущие снизу от пентапризм 2, попадали на реперные площадки. С помощью блоков индикации ПЧЦЗ добиваются наиболее точного расположения

агрегатов относительно базовых осей плановой проекции самолета.

Высотное положение реперных точек контролируют нивелировкой относительно горизонтальной лазерной плоскости и так же с помощью специальных мерных штанг, которые по лазерным лучам выставляют перпендикулярно плановой проекции самолета.

Как видно из изложенного, ЛЦИС — это большой комплекс приборов и устройств, которые позволяют производить бесконтактный контроль геометрических параметров изделий на всех стадиях изготовления ЛА, начиная с технологической подготовки производства, изготовления оснастки и кончая контролем размеров ЛА при их выходе на летные испытания.

3.2. ОПТИКО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АГРЕГАТОВ ИЗДЕЛИИ

Как видно из рассмотренного выше, в производстве летательных аппаратов применяют специфические методы контроля геометрических параметров изделий. Но ряд этих методов имеет существенные недостатки. Например, методу с применением специальных контрольно-обмерочных стендов присущи следующие недостатки:

1. Большая трудоемкость и себестоимость изготовления стенда.
2. Металлоемкость конструкции стенда.
3. Возможность применения стенда только для контроля изделий приблизительно одинаковых габаритов.
4. Необходимость специальной контрольной оснастки, помимо самого стенда (переходники, обмерочные кольца, плиты и т. д.).
5. Большая трудоемкость самого процесса контроля.

Помимо этого, данный метод неприменим для крупногабаритных изделий. Для обмера крупногабаритных изделий существуют специальные методы. Недостатки этих методов:

1. Большая трудоемкость процесса обмера (в частности, горизонтирование).
2. Для контроля различных параметров применяют разные методы при контроле одного изделия.
3. Необходимость большого количества специальной контрольной оснастки и большого количества контролеров.
4. Несмотря на сравнительную простоту методов по сравнению с обмером на стендах, эти методы требуют специальных универсальных регулируемых опор для придания изделию горизонтального или вертикального положения.

Все эти недостатки можно устранить применением оптико-

аналитического метода контроля геометрических параметров круногабаритных изделий.

Суть метода чрезвычайно проста (рис. 46): произвести несколько измерений с помощью теодолитов, направляемых на различные фиксируемые точки изделия, а затем, используя фор-

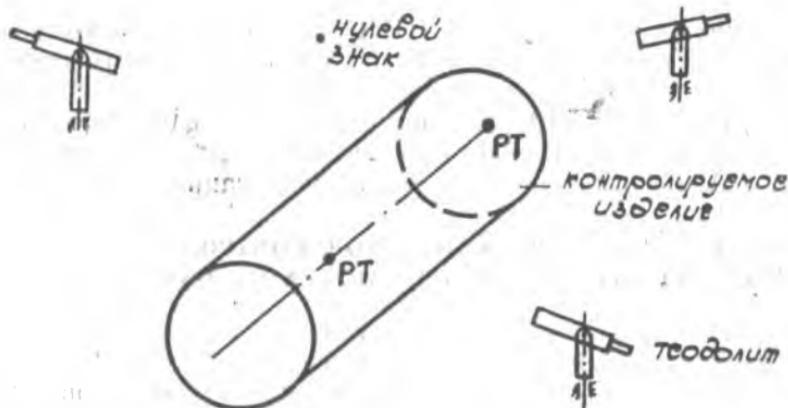


Рис. 46. Схема оптико-аналитического метода контроля геометрических параметров агрегатов ЛА

мулы аналитической геометрии, определить интересующие нас геометрические параметры: закрутку, неплоскостность, непараллельность плоскостей стыковых шпангоутов и т. п. Но несмотря на свою кажущуюся простоту, этот метод тоже требует определенной технической и математической подготовки.

Техническая подготовка

1. Строится теодолитная площадка.

2. На этой площадке на специальных подставках устанавливаются теодолиты таким образом, чтобы было удобно работать обслуживающему персоналу и чтобы с каждого теодолита было видно место установки изделия. Количество и расположение теодолитов выбирается в зависимости от расположения реперных точек (РТ) на изделии таким образом, чтобы каждая реперная точка была видна не менее чем с двух теодолитов. На теодолитной площадке должен быть неподвижно установлен нулевой знак, видимый со всех теодолитов.

3. Определяют координаты точек пересечения осей вращения теодолитов в системе теодолитной площадки (начало координат — нулевой знак).

Необходимо отметить, что обмеряемое изделие после доставки на теодолитную площадку не нуждается в перегрузке

на специальные опоры. Оно может занимать любое произвольное положение в пространстве. Единственное условие — неподвижность изделия во время снятия отсчетов.

Математическая подготовка

Поскольку обработку результатов измерений будет вести ЭВМ, то целесообразно будет предельно упростить задачу контролеров. В их функции будет входить:

1. Навести теодолит на нулевой знак, снять отсчеты с лимбов и занести в таблицу карты контроля.
2. Навести теодолит на реперный знак, снять отсчеты с лимбов и записать в таблицу карты контроля.
3. Прodelать подобную операцию для каждого реперного знака, снять отсчеты с каждого теодолита, отнести таблицу в вычислительный центр.
4. Получив готовый результат, оценить его и дать заключение о годности изделия.
5. Передать результаты на хранение.

Как видно, функции контролеров весьма просты. А это немаловажный фактор для получения более объективных результатов обмера.

Вернемся теперь к математической подготовке. Подготовить задачу для решения на ЭВМ — это значит разработать для нее алгоритм и блок-схему программы. Располагая алгоритмом и блок-схемой программы, можно реализовать их в виде конкретных программ на определенных машинах. Поскольку задача для решения на ЭВМ довольно проста, то ее можно решать на малых и средних машинах, не загружая большие, что также является преимуществом данного метода. Более подробно эти вопросы рассмотрены в работе [6].

Преимущества оптико-аналитического метода

1. Простота конструкции стенда.
2. Возможность проведения обмера изделия любых размеров.
3. Возможность использования универсальных приборов.
4. Малая трудоемкость обмера и процесса обработки результатов обмера на ЭВМ.
5. Применение для обработки результатов измерений малых ЭВМ.
6. Возможность использования менее квалифицированных контролеров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Белянин П. Н.* Производство широкофюзеляжных самолетов. М.: Машиностроение, 1979. 360 с.
2. *Вагнер Е. Т., Митрофанов А. А., Барков В. Н.* Лазерные и оптические методы контроля в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1977. 176 с.
3. *Вагнер Е. Т.* Лазеры в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1982. 184 с.
4. *Волошин И. Н.* Обеспечение точности обводов клепаных агрегатов самолетов. М.: Машиностроение, 1979. 152 с.
5. *Григорьев В. П.* Взаимозаменяемость агрегатов в самолетостроении. М.: Машиностроение, 1969. 258 с.
6. *Горячев А. С., Звягинцев В. А.* Оптико-аналитический метод обмера агрегатов летательных аппаратов // Вопросы технологии сборки конструкций летательных аппаратов. Сб. науч. тр. Куйбышев: КуАИ, 1982. Вып. 3 44—56 с.
7. *Докунина Н. А.* Методы и средства контроля геометрических параметров в самолетостроении. М.: Оборонгиз, 1959. 130 с.
8. *Иванов Б. Н.* Измерение линейных размеров методом обкатывания роликом. М.: Машиностроение, 1973. 144 с.
9. *Камалов В. С.* Производство космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1982. 280 с.
10. *Кисеам Ф.* Оптические приборы. М.: Машиностроение, 1966. 197 с.
11. *Митрофанов А. А.* Оптические методы и средства контроля сборочных работ в вертолетостроении. М.: Машиностроение, 1973. 195 с.
12. Новая геодезическая техника и ее применение в строительстве: Учеб. пособие. / Сост. *В. А. Величко* и др.; Под ред. *В. Е. Дементьева*. М.: Высшая школа, 1982, 2-е изд. 280 с.
13. Оснащение самолетного и ракетного производства (пер. с англ.) / Под ред. *С. А. Вигдорчика*. М.: Машиностроение, 1967. 404 с.
14. Ракеты-посылатели / Сост. *Александров В. А.* и др.; Под общ. ред. проф. *С. О. Осипова*. М.: Воениздат, 1981. 315 с.
15. Технология самолетостроения / Сост. *Абибов А. Л., Бирюков Н. М., Бойцов В. В.* и др.; Под ред. *А. Л. Абибова*. М.: Машиностроение, 1982. 551 с.
16. Технологические методы и средства контроля качества в самолетостроении / Под ред. *И. М. Дунаева*. М.: Машиностроение, 1973. 448 с.
17. *Юреник Т. А., Горячев А. С.* Современные методы обеспечения взаимозаменяемости и монтажа сборочной оснастки. Куйбышев: КуАИ, 1986. 60 с.
18. *Горячев А. С.* Метод обеспечения взаимозаменяемости агрегатов летательных аппаратов с помощью разделочных стенов. Куйбышев: КуАИ, 1976. 56 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Методы и средства контроля размеров, формы и взаимного расположения поверхностей крупногабаритных изделий	6
1.1. Методы определения неплоскостности и непараллельности привалочных плоскостей агрегата по превышению контролируемых точек	8
1.1.1. Графический метод	14
1.1.2. Графоаналитический метод	18
1.1.3. Определение непараллельности и неплоскостности с помощью макета	24
1.2. Контроль эксцентриситета и закрутки верхнего и нижнего шпангоутов изделий	28
1.2.1. Контроль закрутки и эксцентриситета изделия на стенде с неподвижным основанием	31
1.2.2. Контроль закрутки и эксцентриситета изделий на стенде с вращающимся основанием	34
1.3. Контроль искривления оси изделия к базовой оси	35
1.4. Методы и средства измерения диаметров нежестких крупногабаритных изделий	37
1.4.1. Метод опоясывания	37
1.4.2. Метод обкатки изделия мерным роликом	40
1.4.3. Приборы для измерения диаметров с учетом искруглости	46
1.5. Методы и средства измерения геометрических параметров крупногабаритных сферических емкостей	48
1.5.1. Измерение координат фланцев, расположенных на полюсной части емкости	50
1.5.2. Измерение геометрических параметров сферы	52
2. Контроль геометрических параметров среднегабаритных и малогабаритных изделий	55
2.1. Контроль геометрических параметров среднегабаритных изделий	55
2.2. Контроль геометрических параметров малогабаритных изделий в специальном контрольном стенде	59
2.2.1. Контроль геометрических параметров самолета в стенде	60
2.2.2. Процесс контроля точности секции фюзеляжа	62
3. Перспективы развития методов контроля геометрических параметров в процессе агрегатной и общей сборки ЛА	65
3.1. Бесконтактные методы контроля с применением лазерных центрирующих измерительных систем (ЛЦИС)	65
3.1.1. Стыковка и нивелирование изделия на базе ЛЦИС	69
3.1.2. Стыковка отсеков фюзеляжа	75
3.1.3. Проверка оси симметрии самолета и вертикального положения киля	75
3.1.4. Контроль обводов аэродинамических поверхностей агрегатов ЛА	76
3.1.5. Проверка расположения реперных точек в плановой проекции самолета	78
3.2. Оптико-аналитический метод контроля геометрических параметров агрегатов изделий	79
Библиографический список	82

Горячев Алексей Степанович

**КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
АГРЕГАТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Редактор Т. К. Крeтнина
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Н. С. Куприянова

Свод. тем. пл. № 123

Сдано в набор 18. 04. 89 г. Подписано в печать 30. 06. 89 г.
ЕО 00236.

Формат 60×84,1/16. Бумага оберточная.
Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. п. л. 5,0. Уч.-изд. л. 4,8. Т. 500 экз.
Заказ 389. Цена 20 к.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королева.
443001 Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип. ЭОЗ Куйбышевского авиационного института.
443001 Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.