

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Учебно-методическое пособие
к выполнению практических занятий
по дисциплине
«Автоматизированные измерительные системы»
для студентов очной, заочной и очно-заочной форм обучения
технических направлений

Севастополь
СевГУ
2018

УДК 531.74

Р е ц е н з е н т:

А.Ю. Тараховский – к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения»

Составители: А.П. Васютенко, О.В. Филипович, Н.А. Волошина,
Н.А. Балакина

Расчет параметров измерительных устройств, преобразователей и погрешности измерительных систем: учеб.-метод. пособие к выполнению практических занятий / Сост. А.П. Васютенко, О.В. Филипович, Н.А. Волошина, Н.А. Балакина. – Севастополь: СевГУ, 2018. – 67 с.

Предназначены для учебно-методического обеспечения дисциплины «Автоматизированные измерительные системы».

Целью учебно-методического пособия является оказание помощи студентам при выполнении практических занятий по дисциплине «Автоматизированные измерительные системы», изучении студентами схем, принципа действия и методов расчета измерительных скоб, направляющих прямолинейного движения на упругих элементах, подводящих устройств, измерительных преобразователей и погрешности автоматизированных измерительных систем.

УДК 531.74

Учебно-методическое пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов», протокол № 9 от 23 марта 2018 г.

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия для студентов очной, заочной и очно-заочной форм обучения технических направлений.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	5
2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1 «РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИБОРОВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА»	18
3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПОДВОДЯЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРИБОРОВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ	23
4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3 РАСЧЕТ ПОДВЕСОВ НА МЕМБРАНАХ С КОЛЬЦЕВЫМИ ВЫРЕЗАМИ.....	31
5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4 РАСЧЁТ УПРУГИХ ПЛОСКОПРУЖИННЫХ ПАРАЛЛЕЛОГРАММОВ	36
6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5 РАСЧЕТ ИНДУКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СОЛЕНОИДНОГО ТИПА	43
7. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6 РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИБОРОВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ.....	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	67

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированные измерительные системы являются одним из наиболее перспективных направлений развития систем автоматического регулирования (управления) производственными процессами.

Отличительной чертой автоматизированных измерительных систем является их способность приспосабливать, изменять свою структуру или характер действия в зависимости от внешних условий, от выхода из строя или нарушения свойств какого-либо из элементов и т.д.

Автоматизированные измерительные системы активного автоматического контроля и регулирования размеров осуществляют без участия человека изменение параметров настройки системы с целью обеспечения минимальной суммарной погрешности на выходе при наличии случайных возмущений.

Автоматизированные измерительные системы реагируют на рассогласование текущего значения контролируемого параметра и его заданным значением.

В отличие от обычных автоматизированные измерительные системы имеют переменную настройку задающего элемента при контроле по отклонению размера, а также компенсирующее устройство с двумя входами, выполняющие вычислительные операций над двумя измеряемыми величинами (по отклонению и по возмущению). У наиболее совершенных автоматизированных измерительных систем имеется также обратная связь по отклонению размера, подающая сигнал рассогласования непосредственно на вход регулируемого объекта (детали) и, таким образом, зависящая от основных возмущений (износа, тепловых и силовых деформаций). В функцию компенсирующего устройства входит ликвидация возможного рассогласования в системе. Автоматизированные измерительные системы могут также автоматически решать задачу о выборе оптимального режима обработки, обеспечивающего достижение наивысшей точности и наибольшей производительности при наименьших затратах потребляемой энергии.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Измерительные системы, осуществляющие контроль геометрических параметров деталей в автоматическом режиме, классифицируются на четыре основных вида: приборы активного контроля, подналадчики, контрольно-сортировочные автоматы, автоматизированные устройства измерения параметров геометрической формы и взаимного расположения поверхностей деталей.

1.1. Приборы активного контроля

Средства активного контроля выполняют операции, необходимые для сравнения действительного размера обрабатываемой детали с заданным размером, и в зависимости от результатов этого сравнения управляют технологическим процессом. Основной задачей средств активного контроля является устранение влияния на обрабатываемый размер различных факторов, действующих в системе станок–приспособление–инструмент–деталь (СПИД): износ режущего инструмента, температурные деформации, упругие силовые деформации, возникающие из-за неустойчивости припуска на обработку, механических свойств обрабатываемого материала и затупления режущего инструмента.

Независимо от технологического оборудования средства активного контроля в общем виде строят по единой принципиальной схеме (рис. 1.1), включающей отдельные узлы и блоки, предназначенные для выполнения определённых задач.

Измерительная оснастка 1 включает в себя необходимые щуповые механизмы в виде скоб, призм, рычажных устройств и т.д., подвижные элементы которых воспринимают изменение контролируемого размера и преобразуют их в перемещения одного или нескольких своих звеньев.

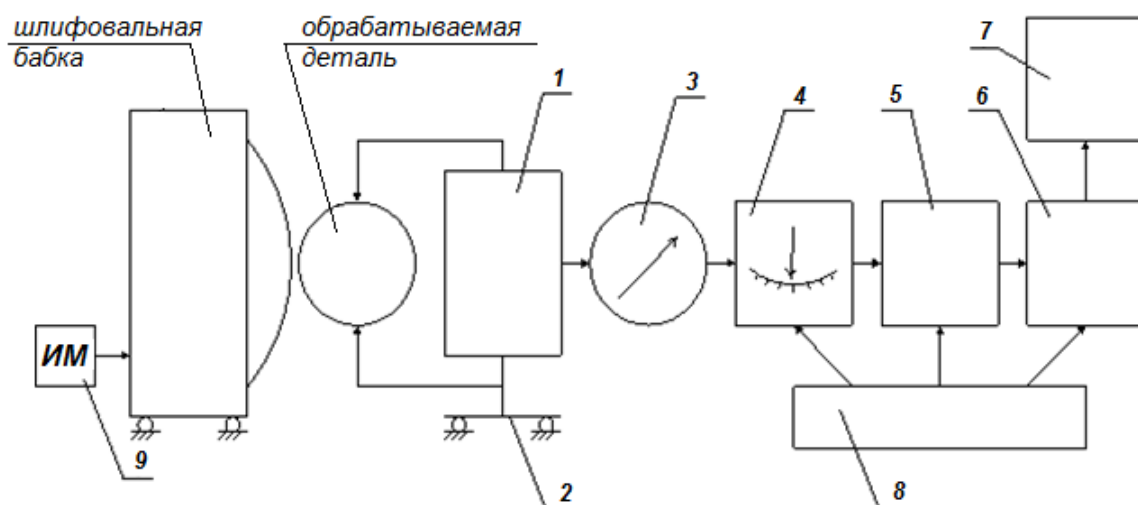


Рис. 1.1. Схема прибора активного контроля

К измерительной оснастке относится также механизм отвода и подвода измерительной скобы на позицию измерения.

Для получения информации о состоянии контролируемого параметра в виде показаний на шкале отсчетного устройства 4 перемещения звеньев измерительной оснастки преобразуются первичным измерительным преобразователем 3 в аналоговый сигнал. Измерительную информацию в виде аналогового сигнала преобразуют в дискретный электрический сигнал-команду. При достижении контролируемым размером определённой величины с помощью сигналов-команд осуществляют автоматическое управление технологическим процессом. Задачу выработки дискретного сигнала-команды выполняет командное устройство 5. Команды прибора на станках реализуют путём коммутации силовых электрических цепей, приводящих в действие его исполнительный механизм 9, поэтому электрический сигнал-команду прибора усиливают блоком усилителя командных сигналов 6. Информация об исполнении команд отображается на блоке сигнализации 7. Для поддержания заданных характеристик прибора применяют специальные блоки питания 8.

На рис. 1.2, а показана конструктивная схема прибора активного контроля. Прибор, основанный на индуктивном принципе измерения, предназначен для контроля гладких валов в процессе шлифования. Он обеспечивает выдачу двух команд, используемых для управления шлифовальным станком.

В случае использования прибора для работы с врезной подачей измерительную скобу 5 устанавливают на станке с помощью пружинного амортизатора 27, закрепляемого обычно на кожухе шлифовального круга.

Прибор работает следующим образом. После установки заготовки в центры станка осуществляют подвод шлифовальной бабки. В режиме чернового шлифования с заготовки снимают часть припуска, после чего скобу накидывают на обрабатываемую деталь 1. Во время измерения скоба ориентируется по цилиндрической поверхности детали двумя твердосплавными наконечниками 2 и 3. Боковой наконечник 3 может переустанавливаться вдоль шкалы 4 в соответствии с контролируемым диаметром. Необходимое контактное усилие нижнего измерительного наконечника 2 создается пружиной амортизатора 27. Верхний измерительный наконечник 6 установлен на каретке 8, подвешенной к корпусу скобы на параллелограмме из двух плоских пружин 7 и 10.

Измерительное усилие на верхнем измерительном наконечнике создается винтовой пружиной 9. Если припуск превосходит величину допустимого хода якоря 17 в зазоре магнитопровода с катушками 16 и 22 индуктивного датчика, то гайка 25 увлекает за собой магнитопровод, подвешенный к корпусу 26 с помощью плоских пружин 14 и 24, и отрывает его от винта 13.

По мере снятия припуска измерительный стрелень вместе с магнитопроводом перемещается вниз до соприкосновения с торцом винта 13, к которому он прижимается пружиной 20. С этого момента магнитопровод оказывается неподвижным, а ферромагнитный якорь начинает перемещаться в магнитном поле катушек, которые включены в мостовую схему с дифференциальным трансформатором (рис. 1.2, б). Перемещения якоря 2 вызывают изменение сопротивления магнитной цепи преобразователя и усилитель 7 преобразует их в показания по шкале 11 отсчетного устройства, а с помощью фазочувствительного реле 8 – в команды управления. Причем конечная команда происходит в момент полного баланса моста, т.е. когда якорь занимает среднее положение относительно катушек 1, 3 преобразователя.

При снятии припуска, установленного для чернового режима шлифования, усиленный сигнал датчика достигает уровня срабатывания фазочувствительного электронного реле, которое с помощью промежуточных реле формирует команду для перехода на чистовой режим шлифования и включает первую сигнальную лампу. Одновременно с выдачей первой команды производится переключение усилителя на больший коэффициент усиления. Это достигается отключением делителя, который ранее ослаблял сигнал разбаланса индуктивного моста. Поскольку усиленный сигнал индуктивного моста из-за увеличения коэффициента усиления возрос выше уровня срабатывания фазочувствительного реле, последнее возвращается в исходное состояние.

В момент достижения деталью конечного размера усиленный сигнал моста вновь достигает уровня срабатывания фазочувствительного реле, благодаря чему соответствующее промежуточное реле подает команду об окончании цикла обработки и включает вторую сигнальную лампу.

После выдачи окончательной команды шлифовальная бабка отводится в исходное положение и, воздействуя на конечный выключатель, подготавливает схему прибора к очередному циклу.

Все элементы электрической схемы прибора (рис. 1.2, а) располагаются внутри корпуса блока 15, надежно защищенного от проникновения пыли и влаги специальными резиновыми кольцами.

На передней панели блока размещены показывающий прибор 23, сигнальные лампы 19 и 21, рукоятки для установки предварительной 18 и окончательной 12 команд и переключатель рода работы 11.

Во время подготовки прибора к работе необходимо проверить правильность установки переключателя питающего напряжения, подсоединить прибор к электросхеме станка и только после двухминутного прогрева приступить к проверке прибора.

При плавном подъеме измерительного стержня стрелка

показывающего прибора перемещается вправо, а при освобождении штока – влево. Вблизи от нулевой отметки шкалы произойдет подача предварительной команды и загорится первая сигнальная лампа.

При совмещении стрелки с нулевой отметкой последует выдача окончательной команды и загорится вторая сигнальная лампа. В случае неточного совпадения момента выдачи окончательной команды с нулевым положением стрелки указателя производят регулировку переменным сопротивлением «установка нуля».

Настройку прибора на заданный размер осуществляют по рабочему эталону с размером, соответствующим середине поля допуска, установленному в центрах станка.

Наладку измерительной скобы производят следующим образом: сначала прибор подвешивают к пружинному амортизатору и предварительно закрепляют сменную скобу 5 необходимого диапазона измерения диаметра детали (рис. 1.2, а). Ползун с боковым опорным наконечником 3 перемещают относительно линейки 4 до совмещения с делением, соответствующим номинальному размеру контролируемой детали, и фиксируют его стопорным винтом. Затем шлифовальную бабку подводят в рабочее положение. Ориентируясь по рабочему эталону, закреплённому в центрах, окончательно закрепляют сменную скобу так, чтобы стрелка показывающего прибора установилась на два-три деления выше нуля. С помощью трех винтов 28 добиваются установки измерительных наконечников скобы в одну плоскость, перпендикулярную к оси шлифуемой детали.

Правильно ориентированные наконечники должны оставлять на поверхности вращающиеся детали общий след. При отводе шлифовальной бабки в исходное положение стрелка показывающего прибора не должна отклоняться более чем на одно - два деления.

Настройку предварительной и окончательной команд осуществляют при вращающемся рабочем эталоне.

Переключатель рода работ 11 устанавливают в положение «наладка предварительной команды». Вращая микровинт 13 датчика, перемещают стрелку на требуемую отметку шкалы, а затем рукояткой 18 регулировки предварительной команды устанавливают необходимый момент ее выдачи.

Затем переключатель рода работ 11 устанавливают в положение «наладка окончательной команды». Совместив риску на ручке 12 регулировки окончательной команды с нулевым делением, плавным вращением микровинта 13 совмещают стрелку показывающего прибора с нулевой отметкой шкалы. В этот момент загорается вторая сигнальная лампа 21 и происходит выдача окончательной команды.

Завершив настройку команд, переключатель устанавливают в положение «работа» и шлифуют пробную партию деталей.

В случае необходимости корректировки размера шлифованных деталей в пределах ± 5 мкм используют ручку регулировки окончательной команды. В случае больших величин корректировку производят микровинтом 13.

1.2. Подналадочные измерительные системы

Подналадочные измерительные системы используются для бесцентрово-шлифовальных станков. Их задачей является повышение точности обработки деталей путём компенсации погрешностей, связанных с тепловыми деформациями узлов станка и износом шлифовальных кругов за счёт периодической подналадки шлифовальной бабки.

На рис. 1.3 показан график изменения размеров обработанных деталей при подналадке.

В случае, если доминирующей погрешностью обработки будет износ шлифовального круга, то начальная настройка станка должна обеспечивать размеры деталей, соответствующие нижней границе поля допуска.

Для получения размеров деталей в пределах поля допуска T_d начальная наладка станка производится таким образом, чтобы линия 1-1 отстояла от нижней границы поля допуска не менее, чем на 3σ (σ – средняя квадратическая погрешность обработки).

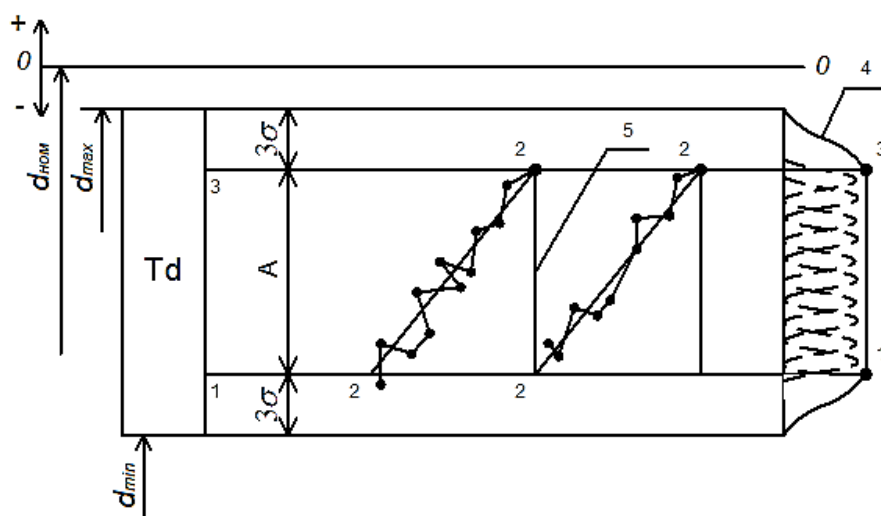


Рис. 1.3. График изменения размеров детали при подналадке

По мере износа круга размеры деталей постепенно увеличиваются и приближаются к верхней границе поля допуска. Смещение усреднённых значений размеров деталей характеризуется линией 2-2. Линия 3-3, характеризующая настройку команды на подналадку, расположена на 3σ ниже верхней границы поля допуска. Кривая 4 показывает суммарное распределение погрешностей размеров деталей.

Процесс подналадки осуществляется следующим образом. По мере износа инструмента центр группирования размеров обработанных деталей перемещается по линии 2-2, приближаясь к границе подналадки (линия 3-3). При выходе размера какой-либо детали за линию настройки, соответствующей границе подналадки, измерительный преобразователь срабатывает и формируется команда на подналадку, в результате выполнения которой шлифовальная бабка перемещается на величину A . Центр группирования размеров смещается вниз на эту же величину, затем по мере износа круга перемещается по направлению к линии настройки до появления детали с размером, при котором срабатывает измерительный преобразователь, и так далее. В современных бесцентрово-шлифовальных станках минимальная величина импульса составляет $1 \dots 2$ мкм.

Для исключения выдачи ложной команды на подналадку станка, данная команда выдаётся не по первой детали с предельным размером, а только в случае последовательного прохождения нескольких деталей с предельным размером.

На рис. 1.4 показана схема бесцентрово-шлифовального автомата, оснащённого подналадочным устройством.

Автомат включает в себя устройство транспортирования заготовок 1, позицию обработки 2, измерительную позицию 3, отсчётно-командное устройство 4, транспортёр обработанных деталей 5, гидроцилиндр схвата 6, гидроцилиндр горизонтального перемещения схвата 7, гидроцилиндр вертикального перемещения схвата 8, шлифовальные бабки 9, исполнительный механизм, состоящий из винтовой передачи 10, червячной передачи 11, храпового колеса 12, собачки 13 и электромагнита 14.

Порядок работы бесцентрово-шлифовального автомата с подналадочным устройством следующий. В соответствии с заданным циклом гидропривод манипулятора осуществляет последовательное перемещение детали от устройства транспортирования заготовок 1 на позицию обработки 2, а затем на измерительную позицию 3 и транспортёр 5 обработанных деталей. По результатам измерения диаметров деталей на позиции 3 отсчётно-командное устройство 4 определяет необходимость подналадки станка и формирует управляющую команду в виде электрического сигнала, который подаётся на электромагнит 14 исполнительного механизма.

Сердечник электромагнита перемещает собачку 13, которая поворачивает храповое колесо 12 и червяк передачи 11 на угол φ . Угловое перемещение червячного колеса преобразуется в линейное перемещение шлифовальной бабки посредством винтовой передачи 10. Величина подналадки A шлифовальной бабки определяется общим передаточным отношением исполнительного механизма и числом срабатывания электромагнита 14.

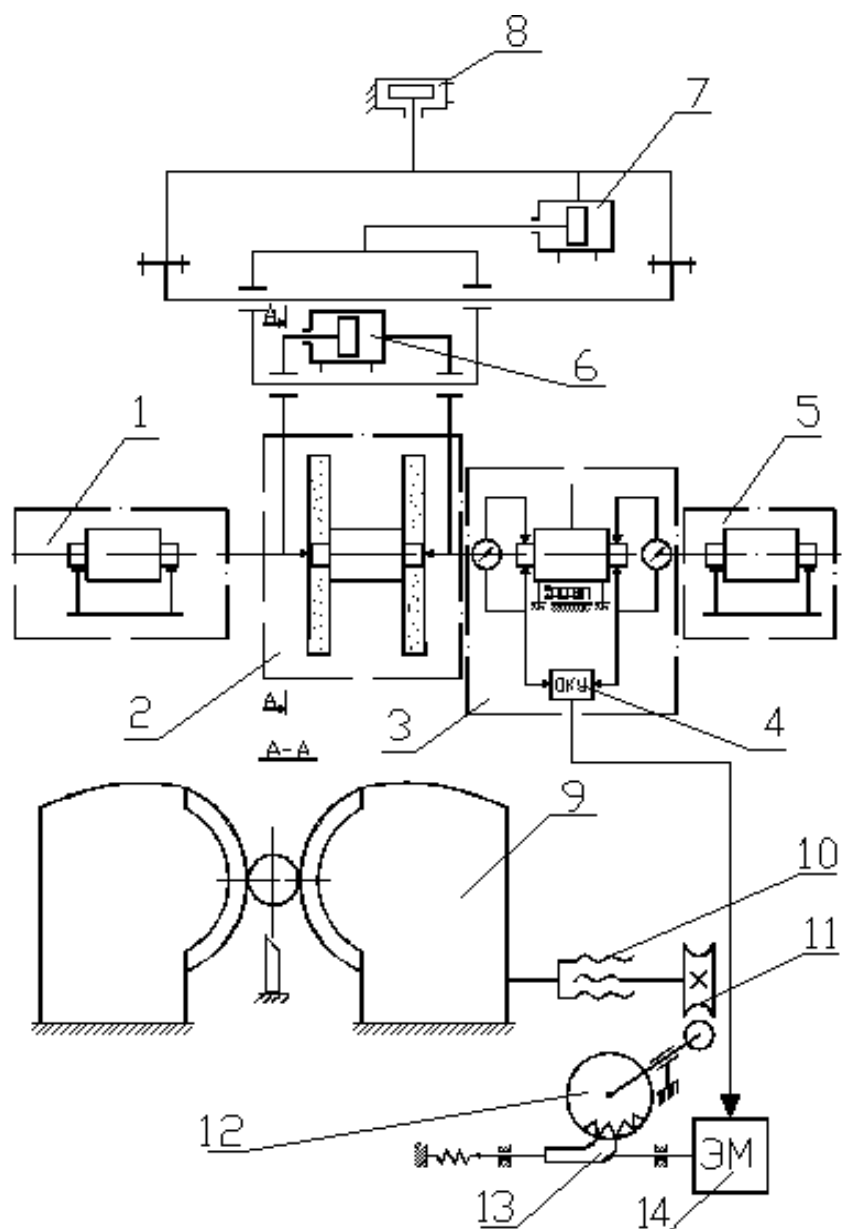


Рис. 1.4. Схема подналадчика к бесцентрово-шлифовальному автомату

Конструктивная схема измерительного устройства подналадчика показана на рис. 1.5.

Контролируемая деталь 1 базируется в призме 2. С поверхностью детали контактируют измерительные наконечники 3 и 4, закреплённые на подвижных каретках 5 и 6. Каретка 5 подвешена на прямых плоских пружинах 7 и 8, образующих пружинный параллелограмм, а каретка 6 на плоских пружинах 9 и 10, которые закреплены на каретке 5. Усилие прижима измерительных наконечников к поверхности детали создается пружиной 11. Измерительный преобразователь 12 закреплён на каретке 13, установленной на плоских пружинах 14 и 15.

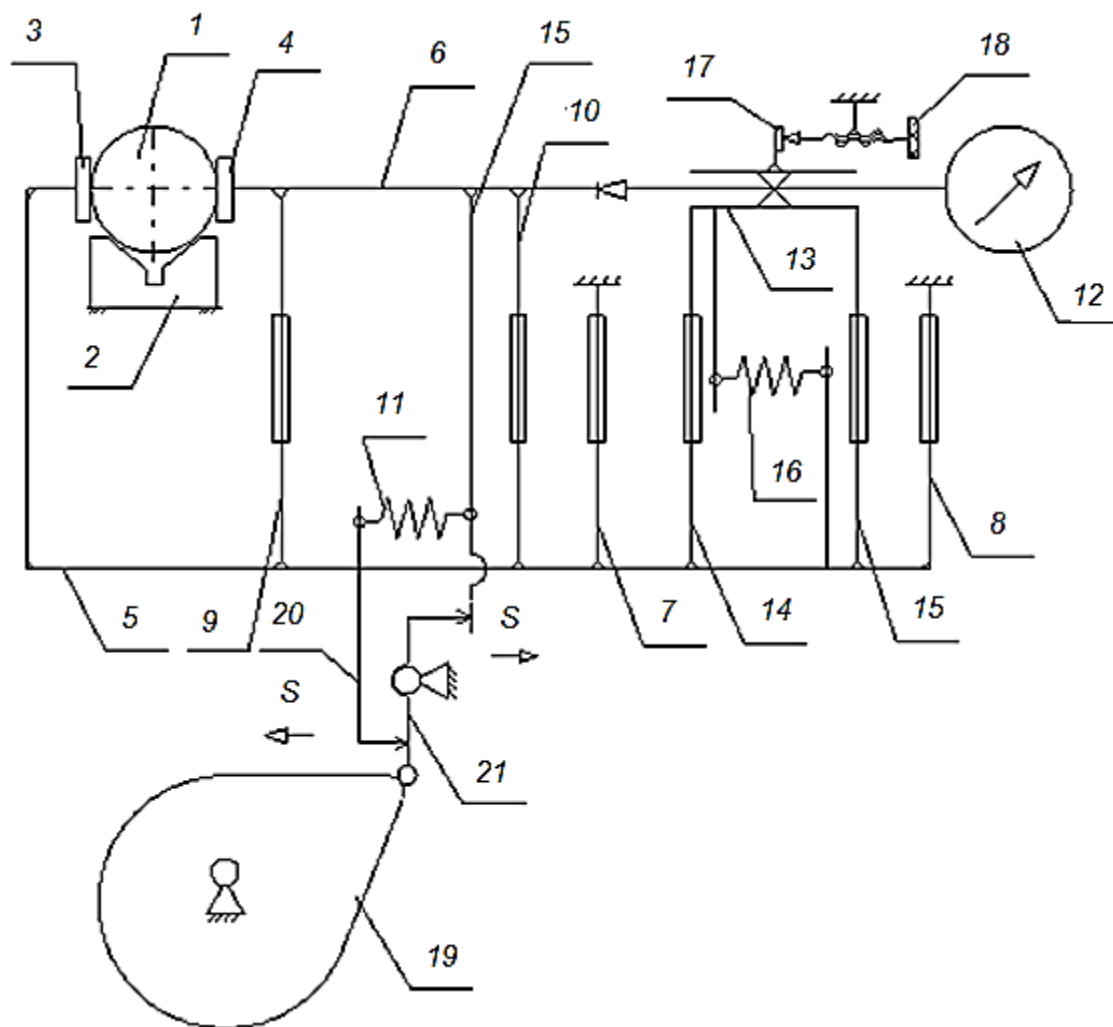


Рис. 1.5. Схема измерительного устройства подналадчика

Цилиндрическая винтовая пружина 16 служит для силового замыкания упора 17 подвижной каретки 13 и винта 18, с помощью которого осуществляется настройка измерительного преобразователя 12.

Кулачок 19, стойка 20 и двуплечий рычаг 21 служат для арретирования измерительных наконечников 3 и 4 при замене контролируемой детали 1.

1.3. Контрольно-сортировочные автоматы

Контрольно-сортировочные автоматы (КСА) являются сложными, специализированными механо-электронными измерительными системами и применяются в крупносерийном и массовом производствах, когда технологическая точность изготовления сопрягаемых деталей не позволяет обеспечить требуемые точностные характеристики изделия. В этом случае изготовленные детали предварительно измеряют и сортируют на размерные группы, а затем сборку узла осуществляют с учетом номера

группы сортировки сопрягаемых деталей. КСА широко используют в подшипниковой, автомобильной промышленности и других отраслях.

Контрольно-сортировочные автоматы состоят из следующих основных узлов: загрузочного устройства, транспортирующего устройства, измерительного устройства (позиции), сортировочного и отсчётно-командного устройств.

На рис. 1.6 показана схема КСА для измерения и сортировки цилиндрических деталей по диаметру (например, поршневых пальцев).

Принцип действия КСА следующий. Контролируемые детали из бункерно-загрузочного устройства 1 поступают в накопительный лоток 2, откуда толкателем-отсекателем 3 подаются на измерительную позицию 4. Толкатель 5 поднимает контролируемую деталь к измерительному устройству 6. По результату измерения диаметра детали отсчётно-командным устройством (ОКУ) определяется номер группы сортировки и подаётся команда на электромагнит (ЭМ) исполнительного механизма сортировочного устройства, который поворачивает соответствующую заслонку 7 или 8. Приводом толкателей 3 и 5 служит кулачковый вал 9 и рычаг 10. Вращение кулачкового вала осуществляется от электродвигателя 11. После измерения толкатель 5 опускает деталь вниз, а толкатель-отсекатель 3 перемещает её к наклонному сортировочному лотку 12, из которого деталь попадает в один из сортировочных бункеров: 13 – брак «+», 14 – брак «-», 15 – «годные». Если, например, открыта заслонка 7, то деталь поступает в сортировочный бункер 13.

Командоаппарат 16, состоящий из кулачкового вала 17 и конечных выключателей 18 и 19, служит для синхронизации работы механических и электрических узлов и блоков автомата. Кулачковый вал 17 командоаппарата приводится во вращение от вала 9 посредством зубчатых колёс 20 и 21.

Принципиальная схема измерительной позиции автомата показана на рис. 1.7. На позиции определяется диаметр деталей и формируется команда на сортировку по трём группам: брак «+», брак «-», «годные».

Толкателем 5 деталь прижимается к неподвижной призме 1, которая обеспечивает её правильное положение при измерении диаметра с помощью «плавающей» скобы 2 с двумя параллельными измерительными наконечниками 3 и 4, выполненными в виде цилиндров из твёрдого сплава.

Самоустановка скобы на контролируемой детали осуществляется благодаря её подвеске к основанию 6 на плоских пружинах 7 и 8, образующих пружинный параллелограмм. Левый измерительный наконечник 3 прижимается к детали с помощью пружины 9. Контакт правого наконечника 4 с деталью обеспечивается пружиной 10.

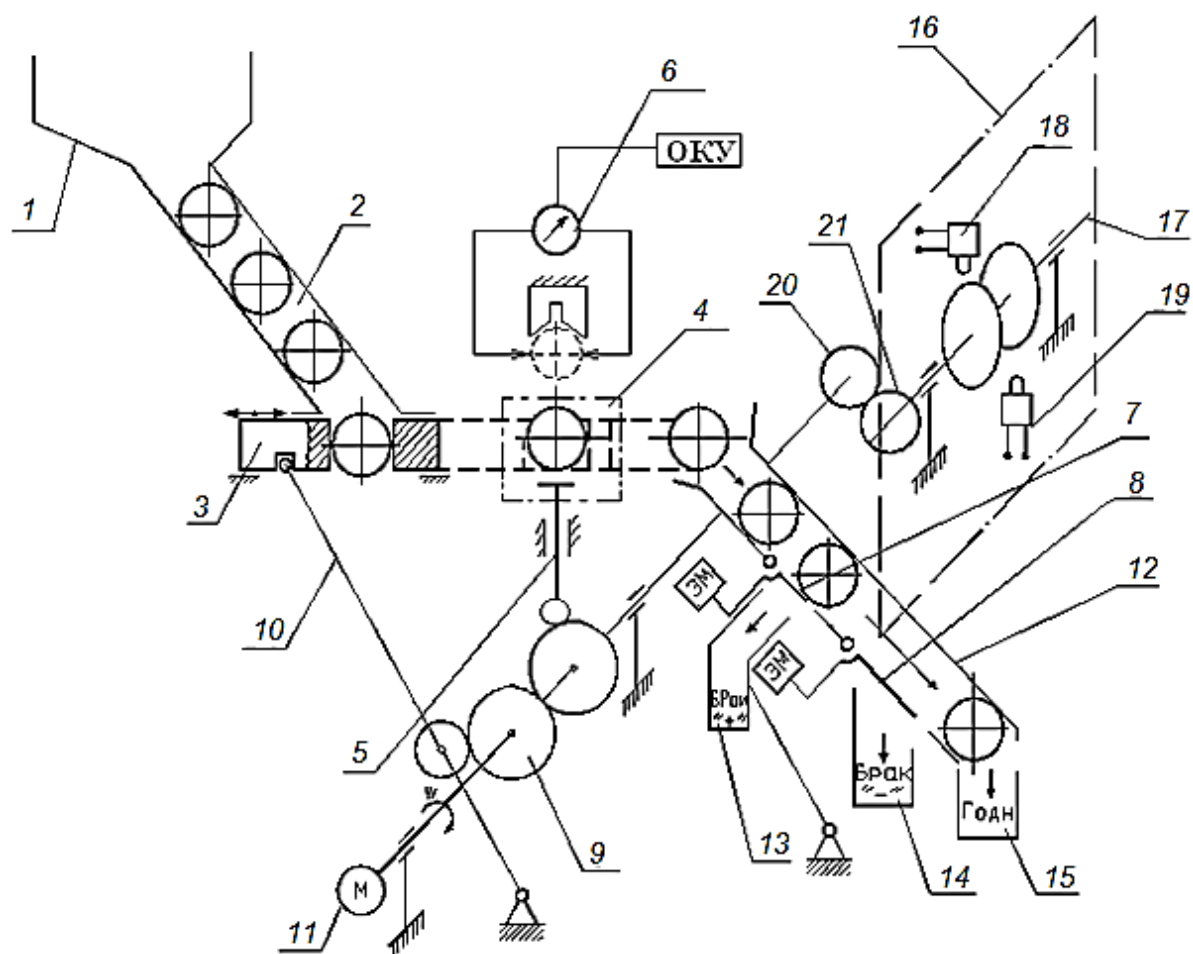


Рис. 1.6. Схема контрольно-сортировочного автомата

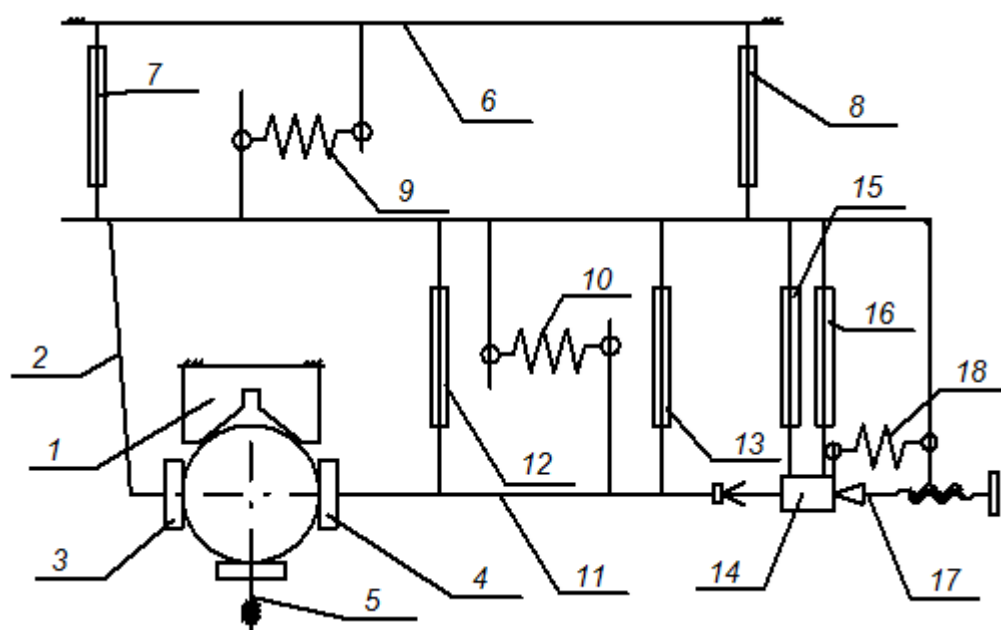


Рис. 1.7. Принципиальная схема измерительной позиции автомата

Благодаря подвеске измерительного штока 11 на плоских пружинах 12 и 13 чувствительный элемент первичного измерительного преобразователя 14 защищен от воздействия боковых усилий со стороны контролируемой детали. Перемещение штока 11 при изменении размера детали совпадает с направлением перемещения измерительного наконечника преобразователя 14. Преобразователь в свою очередь подвешен на плоских пружинах 15 и 16 и прижимается к микровинту 17 пружиной 18. С помощью винта 17 осуществляется настройка и поднастройка измерительного преобразователя. Измерительное устройство настраивают с помощью рабочих эталонов, число которых зависит от количества групп сортировки. При линейной шкале прибора измерительное устройство можно настраивать по одному рабочему эталону и шкале прибора.

1.4. Автоматизированные устройства контроля параметров геометрической формы деталей

В автоматических устройствах измерения параметров геометрической формы деталей (рис. 1.8), как правило, используются те же самые первичные измерительные преобразователи и отсчетные устройства, что и при контроле линейных размеров. Более того, в случае комплексных измерений контроль размеров и погрешности формы изделий производится на одной и той же позиции с помощью одного и того же первичного преобразователя.

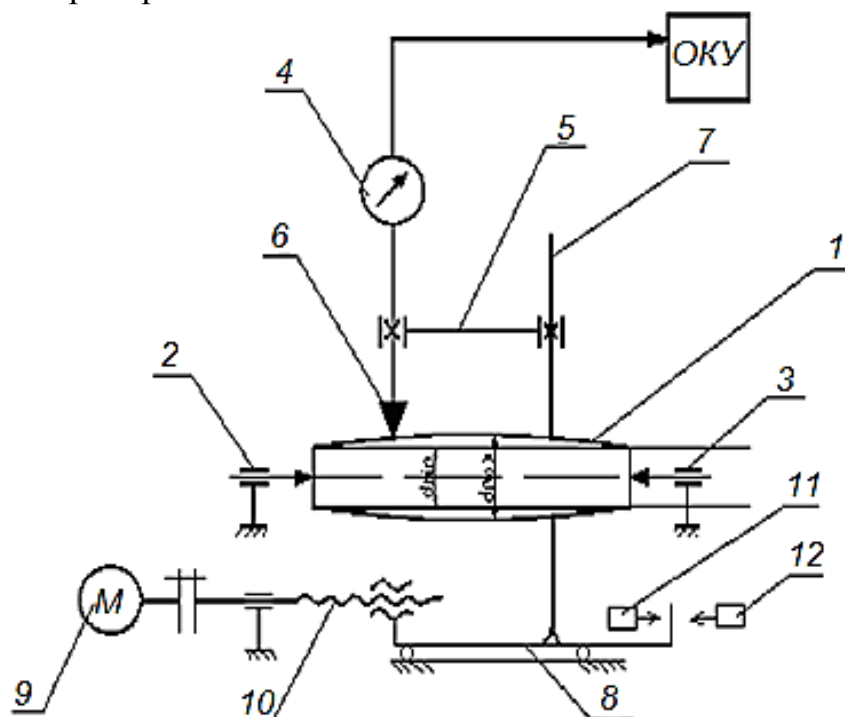


Рис. 1.8. Схема устройства для контроля формы вала в продольном сечении

При этом следует отметить, что допуск на отклонение формы и взаимного расположения поверхностей может составлять 20...50 % от допуска на размер, т.е. точность измерительного прибора должна быть в 2...5 раз выше, чем при измерении размера. Другим аспектом таких измерений является необходимость либо взаимного перемещения измерительного преобразователя относительно контролируемой детали, либо вращения ее, что требует определенных конструктивных решений и затрат времени.

Устройство контроля формы цилиндрических деталей в продольном сечении представлено на рис. 1.8.

Контролируемая деталь 1 устанавливается в измерительные центры 2 и 3. Первичный преобразователь 4 закреплён в кронштейне 5, а его измерительный наконечник 6 контактирует с поверхностью детали 1. Кронштейн 5 установлен на стойке 7 с возможностью перемещения в вертикальном направлении для наладки измерительного устройства на заданный диаметр контролируемой детали.

Для движения измерительного преобразователя вдоль образующей поверхности вала и измерения отклонения его формы в продольном сечении стойка 7 закреплена на подвижной каретке 8 шариковой направляющей. Перемещение каретки осуществляется электродвигателем 9 посредством винтовой передачи 10. Конечные выключатели 11 и 12 служат для ограничения движения каретки 8. Их положение определяется длиной измеряемой поверхности вала.

2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

«РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИБОРОВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА»

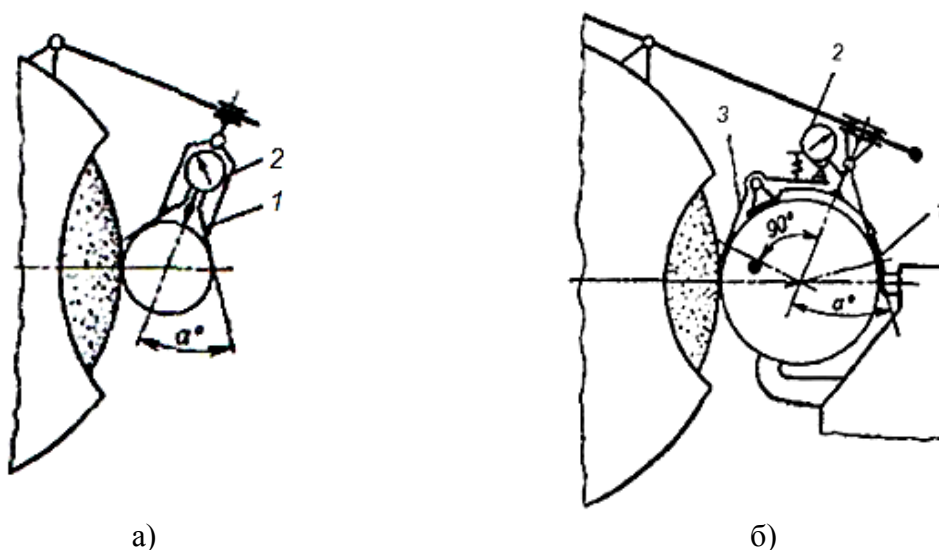
2.1. Цель занятия

Изучение схем и методов расчета измерительных скоб.

2.2. Теоретические положения

При контроле деталей больших размеров и особенно таких деталей, обработка которых ведется в люнетах, применяют измерительные устройства с призмой («наездники»).

Существующие устройства с призмой строят по двум различным измерительным схемам. На рис. 2.1, а приведена принципиальная схема, в которой косвенное измерение диаметра вала осуществляется измерительной головкой (преобразователем) 2 по биссектрисе угла, образованного опорными поверхностями призмы 1.



а) б)
Рис. 2.1. Измерительные устройства с призмой
а – схема измерения вала по биссектрисе угла призмы;
б – схема измерения вала перпендикулярно биссектрисе угла призмы

Передаточное отношение схемы к изменению диаметра контролируемого вала, определяющее перемещение стержня измерительной головки 2 при изменении диаметра вала рассчитывается по формуле:

$$K_d = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha} \right) - 1. \quad (2.1)$$

Передаточное отношение схемы при измерении овальности

$$K_o = \frac{1}{2} \frac{(1 - \sin \alpha)(1 + 2 \sin \alpha)}{\sin \alpha}. \quad (2.2)$$

Взаимосвязь передаточных отношений схемы 2.1, а определяется отношением

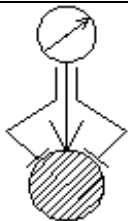
$$\frac{K_o}{K_d} = 1 + 2 \sin \alpha. \quad (2.3)$$

Изменение показаний $\Delta \Pi$ измерительного преобразователя связано с изменением диаметра детали Δd зависимостью

$$\Delta \Pi = k \Delta d, \quad (2.4)$$

где k – коэффициент, зависящий от схемы измерения и угла призмы α (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Значение коэффициента k

Схема измерения	Угол призмы α , град			
	45	60	70	120
	0,8	0,5	0,21	0,08

Погрешность измерения диаметра Δ зависит от погрешности изготовления угла призмы $\Delta \alpha_{рад}$

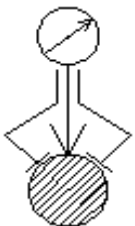
$$\Delta = m \Delta d \Delta \alpha_{рад}, \quad (2.5)$$

где m – коэффициент, зависящий от схемы измерения и угла призмы (табл. 2.2);

$\Delta \alpha_{рад}$ – предельная погрешность угла призмы в радианах;

$\Delta d = T_d$, где T_d – допуск на контролируемый параметр.

Таблица 2.2 – Значение коэффициента m

Схема измерения	Угол призмы α , град.			
	45	60	70	120
	1,94	1,73	1,75	2,16

Если погрешность $\Delta\alpha$ задана в градусной мере, то ее нужно перевести в радианную меру по формуле:

$$\Delta\alpha_{rad} = \frac{\Delta\alpha}{3,4} 10^{-3}. \quad (2.6)$$

В другой схеме (рис. 2.1, б) измерение радиуса осуществляют по линии, перпендикулярной биссектрисе угла между опорными поверхностями призмы 1, измерительной головкой 2 с помощью передающего рычага 3.

Передаточное отношение такой схемы к овальности, омерке практически равно передаточному отношению при измерении диаметра вала. Поэтому эта схема обладает более высокими метрологическими данными.

При измерении диаметра передаточное отношение схемы $K'_d = 0,5$, при измерении овальности – $K'_o \approx 0,5(1 + 0,125\sin^2 \alpha)$, тогда

$$\frac{K'_o}{K'_d} = 1 + 0,125\sin^2 \alpha. \quad (2.7)$$

В случае контроля длинных деталей, обрабатываемых с продольной подачей, или деталей с несколькими обрабатываемыми шейками измерительные устройства типа «наездники» обычно крепят к кожуху шлифовального круга. При этом измерительное устройство будет непрерывно вести контроль по всей шлифуемой длине детали.

2.3. Индивидуальные расчетные задания

Исходные данные для расчета передаточных отношений устройств, реализующих схемы измерения диаметра вала по биссектрисе угла призмы и перпендикулярно ей представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.3 – Исходные данные для расчета

Наименование параметра	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Угол призмы α , град.	60	45	90	120	120	90	60	90	45	60
Диаметр детали d , мм	180	160	210	160	200	250	120	160	180	200
Класс допуска	<i>g6</i>	<i>h6</i>	<i>f8</i>	<i>p6</i>	<i>r6</i>	<i>k6</i>	<i>n8</i>	<i>g6</i>	<i>f9</i>	<i>h8</i>
Допуск на изготовление угла призмы $\Delta\alpha$, мин.	15	20	25	15	30	20	15	25	30	20

Номер варианта выбирается по последней цифре номера зачетной книжки.

2.4. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические положения.
2. По табл. значений допусков и основных отклонений валов (ГОСТ 25346–2013) определить предельные отклонения es ; ei вала и допуск T_d ($T_d = IT$).
3. Рассчитать по формуле (2.4) диапазон изменения показаний ΔP преобразователя.
4. Рассчитать значения передаточных отношений схемы скобы, представленной на рис. 2.1, а при измерении диаметра (K_d) и овальности (K_o).
5. Рассчитать значение передаточного отношения K_o скобы, выполненной по схеме 2.1, б при измерении овальности.
6. Расчетные данные (п. 2 - п.5) занести в табл. 2.4.
7. Сравнить значения передаточных отношений K_d и K_o для схем, приведенных на рис. 2.1, а и 2.1, б и дать заключение.
8. Рассчитать значения передаточных отношений скоб (схемы 2.1, а и 2.1, б) при измерении диаметра и овальности деталей при различных номинальных углах призмы. Расчетные данные занести в табл. 2.5.
9. По данным табл. 2.5 построить графики зависимости $K_d = f(\alpha)$; $K_o = f(\alpha)$. Обосновать выбор угла призмы с точки зрения чувствительности схемы измерительного устройства к отклонению диаметра и овальности.

2.5. Содержание отчета

1. Наименование и цель занятия.
2. Основные теоретические положения.
3. Таблица исходных данных для расчета.
4. Расчет параметров T_d , ΔP , K_d , K_o , Δ .
5. Таблицы расчетных данных (табл. 2.4, 2.5).

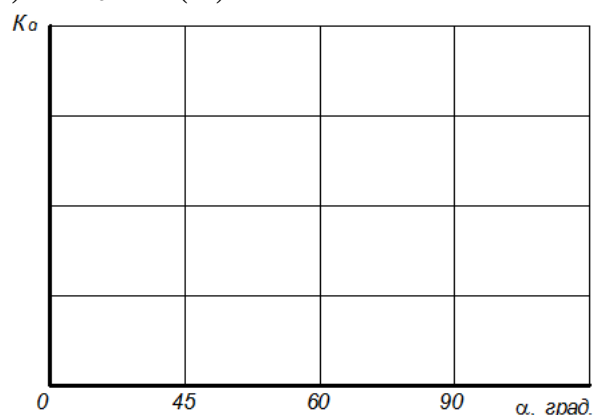
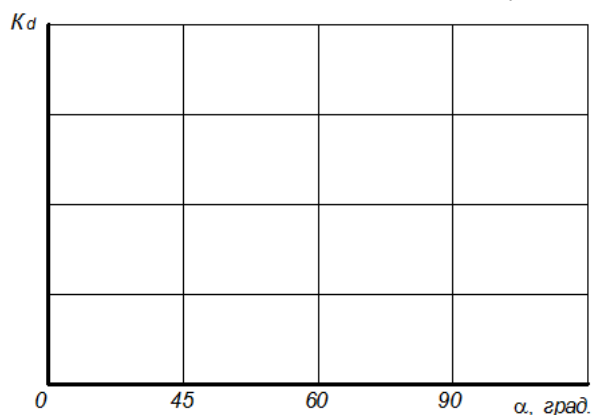
Таблица 2.4 – Данные расчета зависимостей $K_d = f(\alpha)$; $K_o = f(\alpha)$

№ схемы	Передаточное отношение	Угол призмы α , град.			
		45	60	90	120
«а»	K_d				
	K_o				
«б»	K_d				
	K_o				

Таблица 2.5 – Расчетные данные T_d , Δl , K_d , K_o , Δ

Наименование параметра	Схема «а»	Схема «б»
Допуск вала T_d ($T_d = IT$), мм		
Диапазон показаний преобразователя Δl , мм		
Передаточное отношение по диаметру K_d		
Передаточное отношение по овальности K_o		
Погрешность, связанная с отклонением угла призмы Δ , мм		

6. Графики зависимости $K_d = f(\alpha)$ и $K_o = f(\alpha)$.



7. Выводы.

2.6. Контрольные вопросы

1. Каковы достоинства и недостатки 3-х контактных измерительных скоб?
2. Как определить передаточное отношение скоб, выполненных по схеме «а» и «б»?
3. Как рассчитать погрешность измерения в зависимости от угла призмы?
4. Как зависит чувствительность измерения скоб от угла призмы?

3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПОДВОДЯЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРИБОРОВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

3.1. Цель занятия

Изучение конструкции подводящего устройства и методик расчета конструктивных параметров гидропривода и его прочности.

3.2. Теоретические положения

3.2.1. Назначение и конструкция гидравлического подводящего устройства

Гидравлическое подводящее устройство предназначено для установки двухконтактных измерительных скоб приборов активного контроля на автоматических или полуавтоматических круглошлифовальных станках. Применение такого устройства позволяет автоматизировать подвод скобы для измерения шлифуемой детали и осуществить возврат скобы в исходное положение с целью освобождения рабочей зоны при удалении обработанной детали и для установки в центрах станка очередной заготовки.

Подводящее устройство обеспечивает плавное и безударное перемещение скобы, стабильную и жесткую ее фиксацию в положении измерения. Величина рабочего хода скобы определяется требованием беспрепятственной установки и снятия детали.

Конструкция подводящего устройства показана на рис. 3.1. Распределение потоков масла, поступающих в гидроцилиндр 3, укрепленный на основании 17 в автоматическом режиме работы осуществляется гидросистемой станка в соответствии с фазами автоматического цикла шлифования. В наладочном режиме работы станка и прибора активного контроля реверсирование потоков масла выполняется с помощью ручного крана управления 10.

Работа подводящего устройства в автоматическом режиме обеспечивается установкой рукоятки крана в положение «Автомат». Для фиксации рукоятки крана в требуемом положении в ступице 21 имеется шарик 19, западающий под действием пружины в лунки, выполненные на фланце 22.

В исходном положении шлифовальной бабки масло из напорной магистрали гидросистемы станка нагнетается в левую полость гидроцилиндра 3, а из противоположной полости направляется на слив. Благодаря этому поршень 1 прижимается к пружинному кольцу 6, ограничивающему его перемещение вправо, а измерительная скоба 2 удерживается в исходном положении.

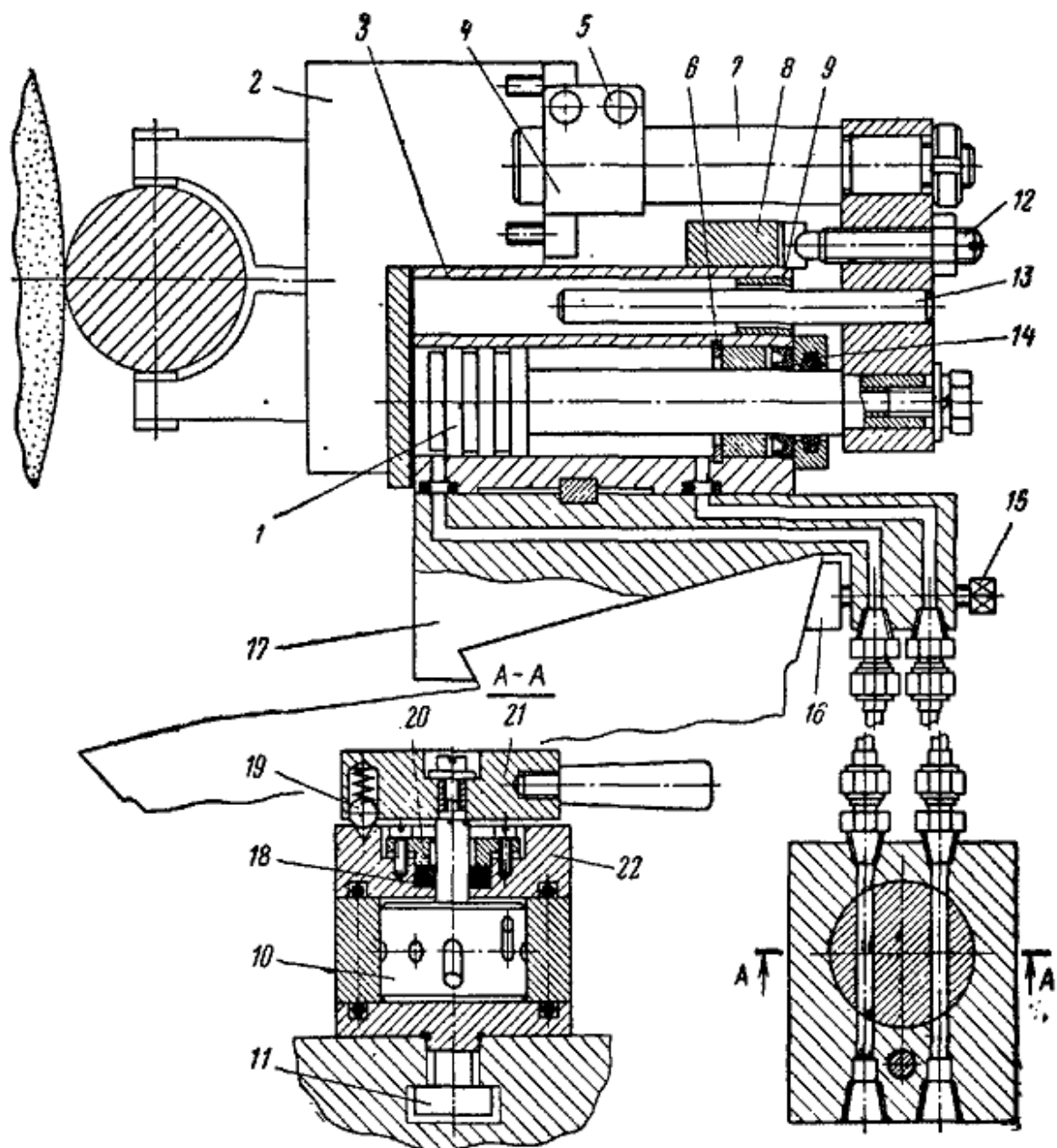


Рис. 3.1. Конструкция подводящего устройства

На первой фазе автоматического цикла осуществляется ускоренный подвод шлифовальной бабки к обрабатываемой детали. По окончании подвода происходит реверсирование потоков масла и правая полость гидроцилиндра сообщается с напорной магистралью, а левая со сливной. Благодаря этому поршень 1 со скобой 2 приобретает плавное движение в сторону обрабатываемой заготовки.

При перемещении поршня направляющий стержень 13 установленный с небольшим зазором во втулке, предохраняет измерительную скобу от поворота вокруг оси поршня. Рабочий ход в направлении контролируемой

детали ограничивается призмой 8 и регулируемым упором 12, надежное прижатие сферической головки которого к граням призмы обеспечивает точную и стабильную фиксацию скобы на измерительной позиции.

Команда на отвод шлифовальной бабки и измерительной скобы в исходное положение формируется управляющей системой прибора активного контроля в момент достижения установленного размера детали. На этой завершающей фазе автоматического цикла элементы гидросистемы станка открывают доступ потоку масла из напорной магистрали в левую полость гидроцилиндра, обеспечивая слив масла в бак из противоположной полости. В результате этого поршень и измерительная скоба отводятся в исходное положение.

Схема управления гидроцилиндром в наладочном режиме работы показана на рис. 3.2.

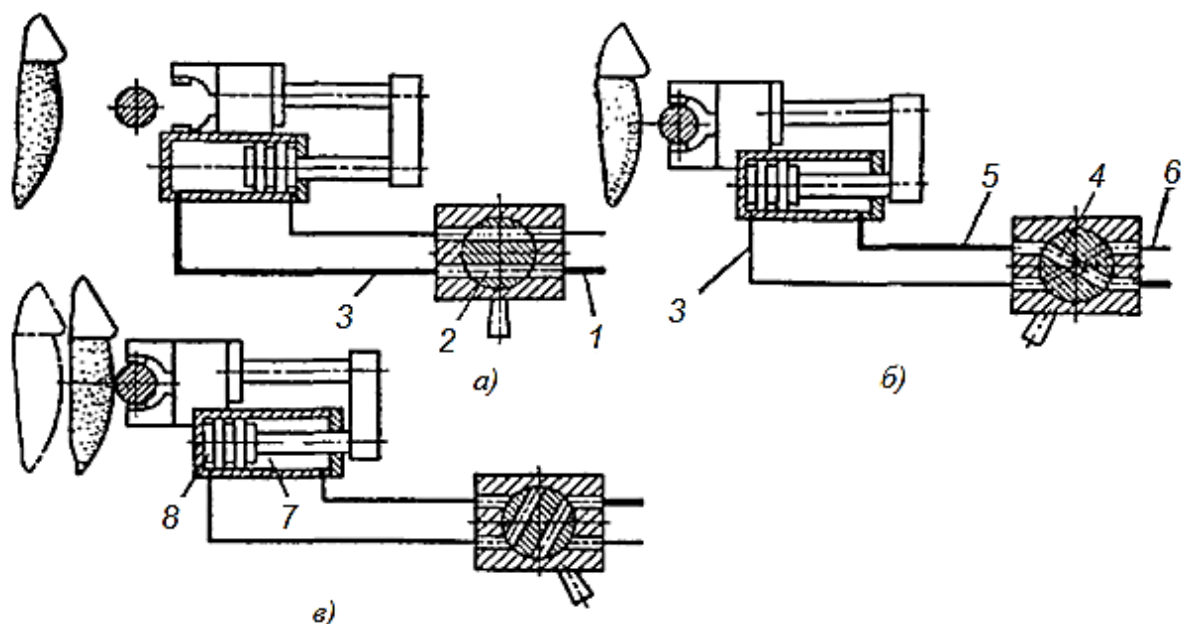


Рис. 3.2. Схема управления гидроцилиндром в наладочном режиме

Когда шлифовальная бабка находится в исходном положении (рис. 3.2, а), напорная магистраль 1 гидросистемы станка сообщается с каналом 2, 3. Подвод скобы на измерительную позицию осуществляют поворотом рукоятки крана во второе фиксированное положение «Измерение» (рис. 3.2, б). Поток масла поступает в правую полость гидроцилиндра по каналу 4, 5, а слив происходит по каналу 5, 6. Скобу возвращают в исходное положение переключением крана управления в положение «Автомат».

При постановке рукоятки крана в третье положение, «Нейтральное» (рис. 3.3, в) рабочие полости 7 и 8 гидроцилиндра изолируются от напорной и сливной магистралей гидросистемы станка. Благодаря этому

возможна фиксация измерительной скобы в любом промежуточном положении на всем участке рабочего хода. Техническая характеристика подводящего устройства мод. БВ-3102 приведена в табл. 3.1

Таблица 3.1 – Техническая характеристика подводящего устройства мод. БВ – 3102

Ход поршня, мм	60, 100 и 160
Рабочий диаметр цилиндра, мм	32
Полезная площадь поршня, мм ² : при подводе скобы при отводе скобы	490 800
Давление масла, подводимого к гидроцилиндру, МПа	0,4...1,0
Усилие на штоке, н	170...680
Габаритные размеры гидроцилиндров, мм, при ходе, мм:	
60	124×46×190
100	124×40×230
160	124×46×290
Масса, кг	7,5...12,2

Правильное ориентирование измерительных наконечников скобы относительно контролируемой детали осуществляют простым поворотом или продольным передвижением кронштейна 4 на колонке 7. После установки в требуемое положение клеммный зажим кронштейна затягивают двумя болтами 5. Ход поршня подводящего устройства регулируют с помощью упора 12 так, чтобы точки контакта измерительных наконечников с поверхностью шлифуемой детали находились в середине этих наконечников. Измерительные наконечники выполнены в виде роликов из твердого сплава. В процессе регулировки следят затем, чтобы в контролирующем положении измерительной скобы между торцом поршня 1 и крышкой гидроцилиндра был обеспечен гарантированный зазор 3...5 мм.

В гидроцилиндре следует применять чистое минеральное масло. Наличие в масле различных механических примесей приводит к повреждению сопрягаемых поверхностей цилиндра и поршня, вызывая увеличение утечек, и к преждевременному износу, сокращая срок службы гидроцилиндра.

3.2.2. Расчет параметров гидроцилиндра

Конструкция гидроцилиндра подводящего устройства представлена на рис. 3.3.

1. Рабочая площадь поршня при подаче масла в полость I цилиндра (рис. 3.3) определяется из выражения:

$$S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}, \quad (3.1)$$

где d_1 – рабочий диаметр цилиндра.

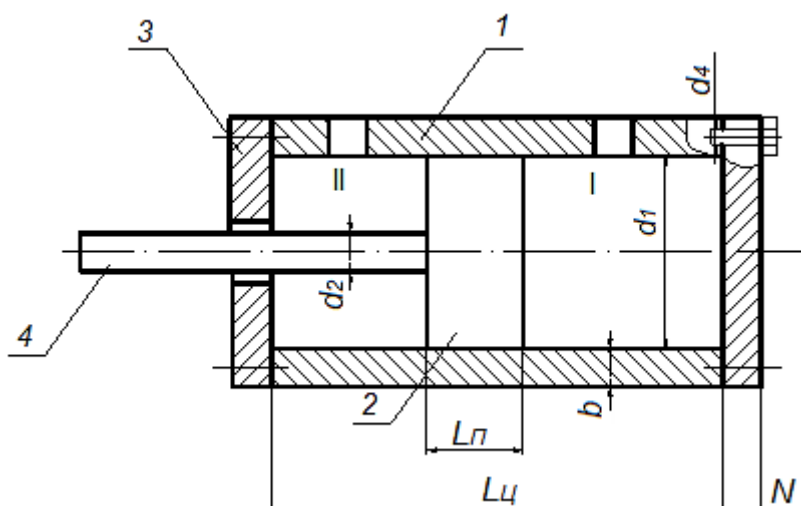


Рис. 3.3. Конструктивные размеры гидроцилиндра подводящего устройства:
1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – крышка; 4 – шток

2. Определение рабочей площади поршня при подаче масла в полость II цилиндра:

$$S_2 = \frac{\pi(d_1^2 - d_2^2)}{4}, \quad (3.2)$$

где d_2 – диаметр штока поршня.

3. Расчет движущего усилия при отводе скобы

$$F_1 = p S_1, \quad (3.3)$$

где p – рабочее давление масла.

4. Расчет движущего усилия при подводе скобы

$$F_2 = p S_2, \quad (3.4)$$

5. Расчет объема цилиндра

$$W = S_1 H, \quad (3.5)$$

где $H = (L_{ц} - L_{п})$ – возможный ход поршня;

$L_{ц}$ – длина цилиндра;

$L_{п}$ – длина поршня.

6. Расчет движущих усилий на штоке с учетом потерь на трение

$$F'_1 = F_1 f, \quad (3.6)$$

где $f = 0,85 \dots 0,97$ – механический коэффициент трения.

$$F'_2 = F_2 f. \quad (3.7)$$

7. Расчет средней скорости движения поршня

$$V = \frac{H}{T} K_1, \quad (3.8)$$

где T – время движения поршня;

$K_1 = 1,25$ – коэффициент, учитывающий потери скорости при ускорении и торможении.

8. Расчет фактического расхода жидкости

$$Q = \frac{VS_1}{n}, \quad (3.9)$$

где $n = 0,98 \dots 0,99$ – объемный коэффициент полезного действия.

3.2.3. Расчет гидроцилиндра на прочность

Так как наружная конфигурация цилиндра имеет прямоугольную форму, то расчет на прочность проводится как для цилиндра с наименьшей толщиной стенки.

Материал цилиндра – сталь 45.

1. Расчет тангенциальных напряжений

$$\sigma_t = \frac{(d_1^2 + d_2^2)}{(d_3^2 + d_1^2)} p \leq [\sigma], \quad (3.10)$$

где $d_3 = (d_1 + 2b)$ – условный наружный диаметр цилиндра;

b – толщина стенки цилиндра.

2. Расчет осевых напряжений

$$\sigma_o = \frac{pS_1}{\pi \left(\frac{d_3^2 - d_1^2}{4} \right)} \leq [\sigma]. \quad (3.11)$$

3. Расчет толщины плоского днища (крышки) N (рис. 3.3):

$$N = 0,405 d_1 \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}}, \quad (3.12)$$

где $[\sigma] = 190 \text{ МПа}$ – допускаемое напряжение.

4. Расчет болтов крышки цилиндра на прочность.

Расчет напряжений в болте

$$\sigma_B = \frac{4pS_1}{\pi n d_4^2} \leq [\sigma_B], \quad (3.13)$$

где $n = 4$ – число болтов; $[\sigma_B] = 100 \dots 130 \text{ МПа}$ – допускаемое напряжение на растяжение.

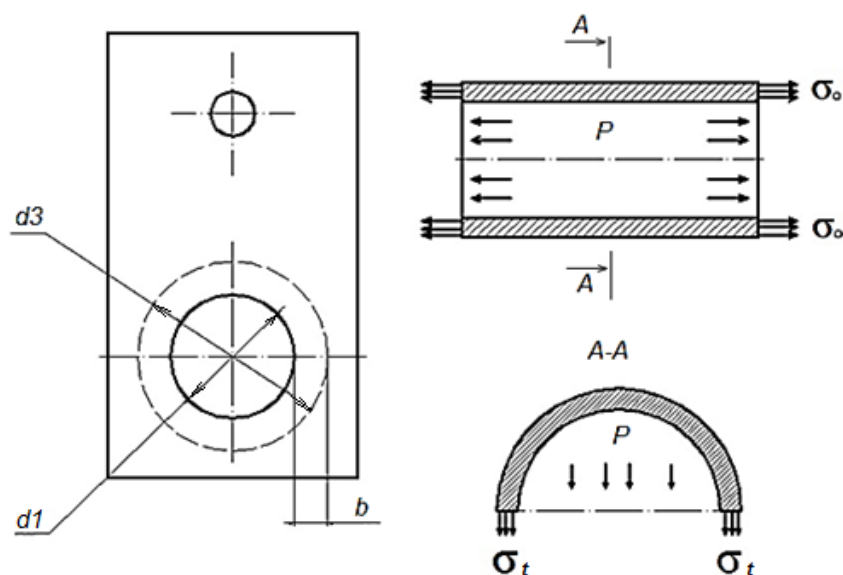


Рис. 3.4. Напряжение, действующее в корпусе цилиндра

Откуда требуемый диаметр болта:

$$d_4 = \sqrt{\frac{4pS_1}{\pi n[\sigma_B]}}. \quad (3.14)$$

Расчетное значение d_4 округляется до стандартного значения.

3.3. Индивидуальные расчетные задания

Исходные данные для расчета параметров и напряжений гидроцилиндра представлены в табл. 3.2 и выбираются по последней цифре зачетной книжки.

Таблица 3.2 – Исходные данные

Наименование параметра	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рабочий диаметр цилиндра d_1 , мм	30	35	40	20	25	30	40	35	40	30
Ход поршня H , мм	60	30	100	40	50	120	60	30	40	50
Рабочее давление масла p , МПа	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,6	1,0	0,4	0,5	0,6
Диаметр штока d_2 , мм	$d_2 = (0,3...0,4)d_1$									
Толщина стенки цилиндра b , мм	3,0	3,5	4,0	3,0	3,5	3,0	4,0	3,5	4,0	3,0
Время движения поршня T , сек	4	5	6	3	4	6	4	5	5	4

3.4. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические положения.
2. Определить рабочие площади поршня (формулы 3.1, 3.2).
3. Рассчитать движущие усилия на штоке поршня (формулы 3.3 - 3.7).
4. Рассчитать объем цилиндра, среднюю скорость движения поршня и расход жидкости (формулы 3.5, 3.8, 3.9).
5. Выполнить расчет цилиндра и болтов крепления крышек на прочность (формулы 3.10 - 3.14).
6. Расчетные данные по п. 2 - 5 занести в табл. 3.3.
7. Выполнить эскиз цилиндра подводящего устройства.

3.5. Содержание отчета

1. Наименование и цель занятия.
2. Назначение и конструкция подводящего устройства.
3. Таблица исходных данных для расчета (табл. 3.2).
4. Расчет параметров S , F , W , V , Q , σ_o , σ_t , σ_B .
5. Таблица значений расчетных параметров (табл. 3.3).
6. Эскиз гидроцилиндра подводящего устройства.

Таблица 3.3 – Расчетные параметры гидроцилиндра

Наименование параметра		Значение
Рабочая площадь поршня	- полость I S_1 , мм ²	
	- полость II S_2 , мм ²	
Движущие усилия с учетом потерь на трение, Н	- полость I F_1'	
	- полость II F_2'	
Объем цилиндра W , мм ³		
Средняя скорость движения поршня V , мм/с		
Расход жидкости Q , мм ³ /с		
Тангенциальные напряжения σ_t , МПа		
Осевые напряжения, σ_o МПа		
Толщина днища (крышка) N , мм		
Напряжения в болте, σ_B МПа		

3.6. Контрольные вопросы

1. Назначение и конструкция подводящего устройства
2. Чему равно рабочее давление масла?
3. Как вычислить движущие усилия при подводе и отводе скобы?
4. Как рассчитать расход жидкости?
5. По каким напряжениям проводится расчет корпуса гидроцилиндра?

4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

РАСЧЕТ ПОДВЕСОВ НА МЕМБРАНАХ С КОЛЬЦЕВЫМИ ВЫРЕЗАМИ

4.1. Цель занятия

Изучение конструкции направляющей прямолинейного движения на мембранах и методики ее расчета.

4.2. Теоретические положения

4.2.1. Конструкция направляющих

Упругие направляющие на круглых мембранах с кольцевыми вырезами находят широкое применение в измерительных приборах и преобразователях. Они обеспечивают высокую точность перемещения, достаточную жесткость и имеют малые габаритные размеры. Точность направляющих обеспечивается отсутствием зазоров, люфтов, перекосов. К недостаткам упругих направляющих следует отнести малую величину линейных перемещений, которая, как правило, не превышает $0,5 \dots 2$ мм.

На рис. 4.1 показана конструкция индуктивного преобразователя.

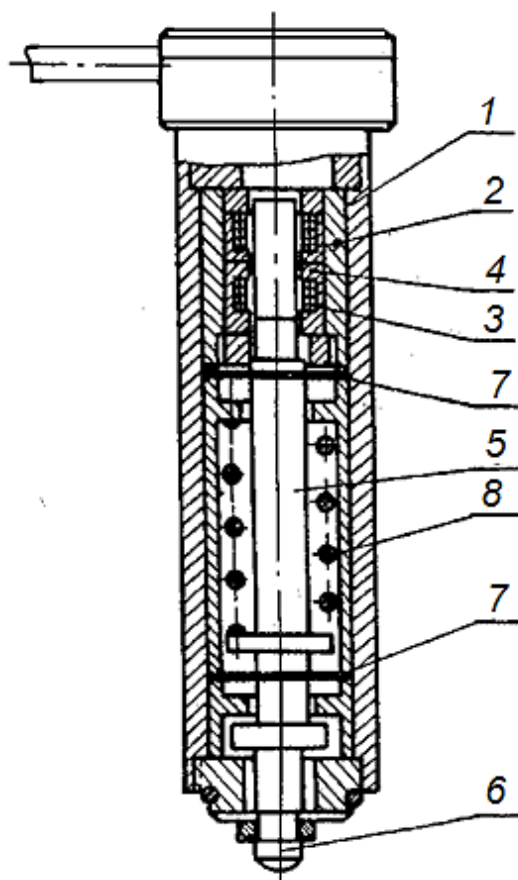


Рис. 4.1. Конструкция индуктивного преобразователя
соленоидного типа

Измерительный шток индуктивного преобразователя подвешен на упругих мембранах. Электромагнитная система преобразователя установлена в корпусе 1 и образована двумя катушками индуктивности 2 и 3, закрепленными в гильзе 4, и ферритовым сердечником, прикрепленным к штоку 5. Измерительный шток 5 установлен на дисковых мембранах 7, снабженных дуговыми вырезами, используемых в качестве упругих направляющих. Измерительный наконечник 6 крепится к штоку 5. Измерительное усилие создается пружиной 8.

Конструктивные размеры мембраны с кольцевыми вырезами показаны на рис. 4.2.

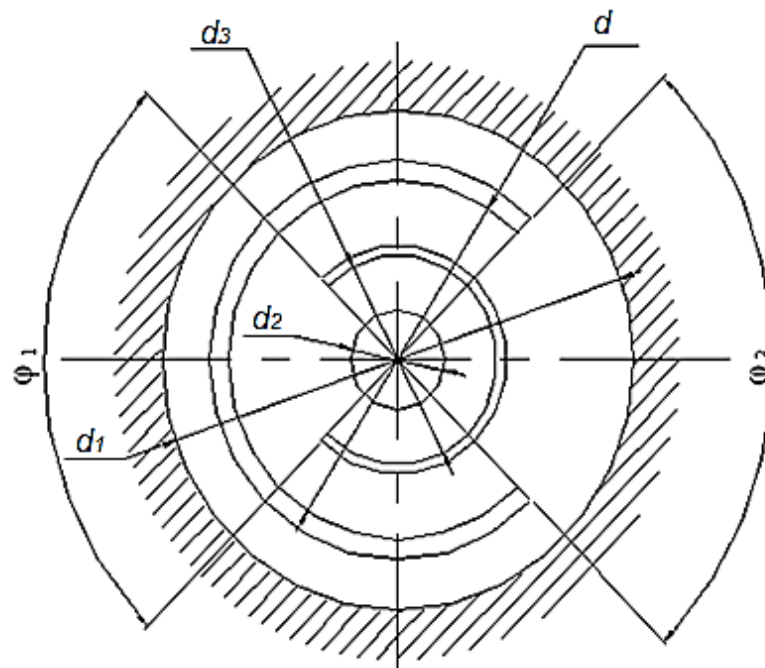


Рис. 4.2. Конструктивные размеры мембраны

4.2.2. Расчет подвеса на мембранах с кольцевыми вырезами

1. Расчет рабочего перемещения.

Величина перемещения S штока направляющей под действием приложенной силы F (рис. 4.3) определяется из выражения

$$S = \frac{F \left(R - \frac{b}{2} \right) R^2}{4EI}, \quad (4.1)$$

где F – усилие деформации подвеса;

$I = \frac{(d - d_3)h^3}{24}$ – момент инерции;

$E = 2 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости материала мембраны;

h – толщина мембраны;

$R = \frac{d + d_3}{4}$; $b = \frac{d - d_3}{2}$; d , d_3 – параметры мембраны (рис. 4.2).

При заданных размерах мембраны и требуемой величине перемещения штока S из выражения 1 можно определить требуемое усилие деформации F

$$F = \frac{4EIS}{(R - \frac{b}{2})R^2}. \quad (4.2)$$

Усилие деформации подвеса на 2-х мембранах равно

$$F_H = 2F. \quad (4.3)$$

Усилие деформации подвеса должно согласовываться с величиной измерительного усилия преобразователя

$$F_H = (0,1...0,3)F_H, \quad (4.4)$$

где $F_H = 2...8$ Н – измерительное усилие.

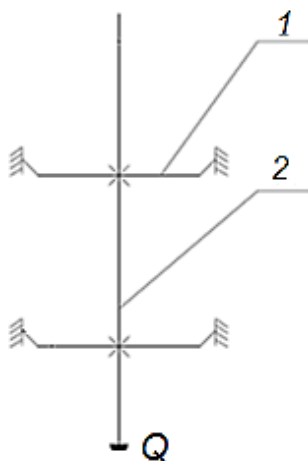


Рис. 4.3. Схема подвеса: 1 – круглые мембраны, 2 – измерительный шток

2. Расчет наибольшего нормального напряжения в мембране

$$\sigma_{\max} = (1,25...1,27) \frac{M_H}{W} \leq [\sigma_H], \quad (4.5)$$

где $M_H = 0,1F(d + d_3)$ – изгибающий момент;

$W = \frac{bh^2}{6}$ – момент сопротивления;

$[\sigma_H] = 160...190$ МПа – допускаемое напряжение на изгиб стали 35Г.

3. Расчет наибольшего касательного напряжения в мембране

$$\tau_{\max} = 1,5 \frac{T_{\max}}{W_k} + 6,5 \frac{F}{bh} \leq [\tau], \quad (4.6)$$

где $W_k = \alpha bh^2$ – момент сопротивления одного сечения перемычки мембраны при кручении; при $R/b \approx 1,5...1,75$ и $h/b \approx 0,33...0,4$;

$$T_{\max} = \frac{FR}{kn} = \frac{F(d + d_3)}{4kn} - \text{крутящий момент, где } R = \frac{d + d_3}{4};$$

$k = 2$ – число мембран;

$n = 2$ – число перемычек;

$[\tau] = 90 \dots 120$ МПа – допускаемое напряжение на кручение.

Если расчетная величина напряжения изгиба или кручения превышает допускаемое напряжение, то необходимо изменить конструктивные параметры.

4.3. Индивидуальные расчетные задания

Исходные данные для расчета мембран представлены в табл. 4.1 и выбираются по последней цифре номера зачетной книжке.

Таблица 4.1 – Исходные данные для расчета мембраны

Наименование параметра	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Наружный диаметр мембраны d_1 , мм	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Диаметр d_2 , мм	3	3,2	3,4	3,5	3,8	4	4,3	4,5	4,7	5
Диаметр d_3 , мм	6	6,3	6,8	7,2	7,7	8	8,6	9	9,5	10
Диаметр d , мм	11,8	12,4	13,2	13,8	14,5	15,2	15,6	16,2	17,2	18
Толщина мембраны h , мм	0,1	0,1	0,11	0,11	0,12	0,12	0,14	0,14	0,15	0,15
Перемещение штока мембраны S , мм	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5

4.4. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические положения.
2. Рассчитать требуемое усилие деформации мембраны F и подвеса F_{Π} по формулам 4.2 и 4.3. Проверить соответствие расчетного значения F_{Π} условию (4.4).
3. Рассчитать величину нормальных и касательных напряжений (формулы 4.5 и 4.6) и проверить их соответствие допускаемым напряжениям. Расчетные данные занести в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Расчетные данные

Наименование параметра	Значение
Усилие деформации подвеса F_{Π} , Н	
Наибольшее нормальное напряжение в мембране $\sigma_{\max}$, МПа	
Наибольшее касательное напряжение $\tau_{\max}$, МПа	

4. Выполнить эскиз подвеса на мембранах с кольцевыми вырезами.

4.5. Содержание отчета

1. Наименование и цель занятия.
2. Основные теоретические положения.
3. Таблица исходных данных для расчета.
4. Расчет усилий деформации подвеса и напряжений.
5. Таблица расчетных данных.
6. Эскиз подвеса на мембранах с кольцевыми вырезами.

4.6. Контрольные вопросы

1. Достоинства и недостатки подвесов на мембранах.
2. Рассказать конструкцию подвеса на мембранах индуктивного преобразователя.
3. Как рассчитать величину рабочего перемещения штока подвеса?
4. Как рассчитать усилие деформации мембраны?
5. По каким напряжениям проводится прочностной расчет мембраны?

5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

РАСЧЁТ УПРУГИХ ПЛОСКОПРУЖИННЫХ ПАРАЛЛЕЛОГРАММОВ

5.1. Цель занятия

Изучение конструкции и методики расчёта упругих направляющих прямолинейного движения на прямых плоских пружинах.

5.2. Теоретические положения

5.2.1. Описание конструкции измерительной скобы

Измерительные скобы приборов активного контроля работают в условиях, связанных с наличием охлаждающей жидкости, абразивной пыли и стружки, вибраций станков и деталей, непостоянной температуры обрабатываемой детали и скобы, непостоянного по величине измерительного усилия. Поэтому при проектировании измерительных скоб должны учитываться все влияющие факторы с тем, чтобы в процессе длительной эксплуатации скобы, как можно меньше изменялись её метрологические характеристики.

Основное назначение измерительных скоб – передать информацию о размере обрабатываемой детали преобразователю. В передаче этой информации участвуют следующие детали скобы: измерительные наконечники, измерительные губки, каретки, плоскопружинный параллелограмм, пружины, создающие измерительное усилие. Функциональное назначение указанных деталей и механизмов предопределяет выбор материала, методику их расчёта и конструирования, технологию изготовления и сборки.

На рис. 5.1 показана конструкция измерительной скобы, включающей в себя две подвижные каретки 1 и 2, закреплённых к неподвижным кареткам 3 и 4 на пружинных параллелограммах, образованных прямыми плоскими пружинами 5. Крепление пружин осуществляется с помощью накладок 6. Накладки 7 и 8 в средней части пружин служат для увеличения угловой жёсткости пружинных параллелограммов. В каретке 1 установлен настроечный винт 9, а в каретке 2 индуктивный преобразователь 10.

На каретках 1 и 2 в направляющих «ласточкин хвост» установлены измерительные губки 11 и 12 с измерительными наконечниками 13 и 14. Направляющие «ласточкин хвост» позволяют осуществлять наладку измерительной скобы на заданный диаметр измеряемой детали путём перемещения губок 11, 12 вдоль подвижных кареток с помощью косозубых шестерен 15 и 16 и реек 17, нарезанных на каретках. Крепление измерительных губок производится винтами 18. Измерительное усилие создается пружинами 19.

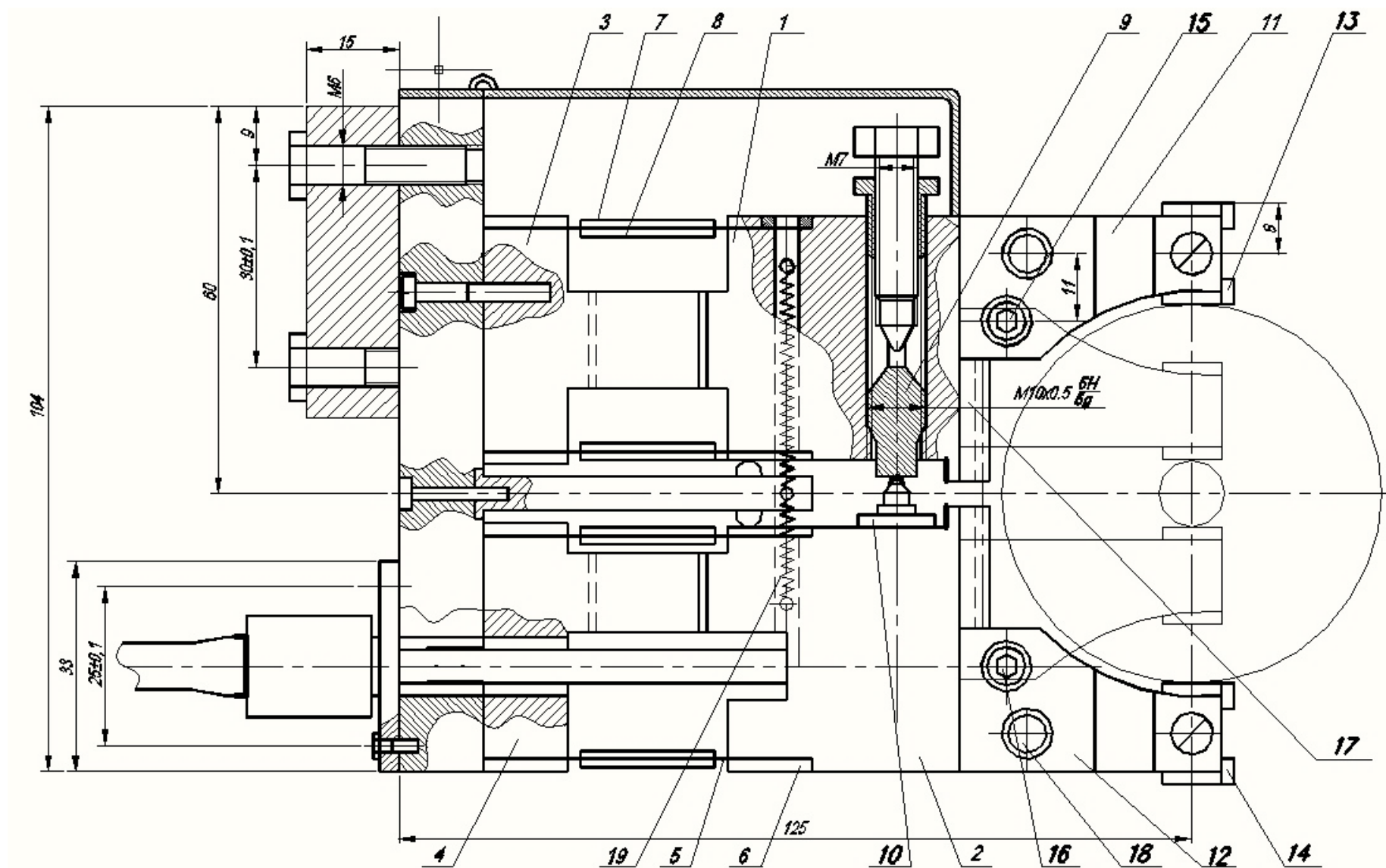


Рис. 5.1. Конструкция измерительной скобы

5.2.2. Расчёт пружинного параллелограмма

В качестве материала для пружин принимается сталь 65Г. Конструктивно пружинный параллелограмм может выполняться с накладками и без накладок в средней части плоских пружин. Схема одиночного параллелограмма без накладок показана на рис. 5.2.

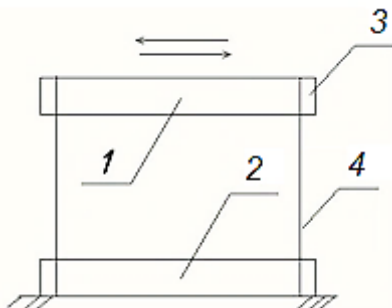


Рис. 5.2. Схема одиночного параллелограмма без накладок в средней части пружин

Две стороны параллелограмма образованы неподвижной кареткой 2 и подвижной 1, которые соединены с прямыми плоскими пружинами 4 накладками 3.

На рис. 5.3 показана расчётная схема параллелограмма с накладками в средней части пружин.

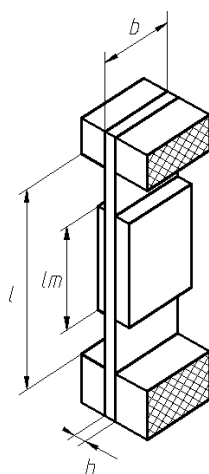


Рис. 5.3. Схема параллелограмма с накладками

На рис. 5.3 приняты следующие обозначения:

ℓ – рабочая длина пружины;

$\ell_m = m\ell$ – длина накладок, выраженная в долях рабочей длины пружины;

$m = 0,5 \dots 0,7$ – коэффициент длины накладки;

b – ширина пружины;

h – толщина пружины.

Основные параметры плоских пружин выбирают в зависимости от многих факторов и, в частности, от размера и веса измерительных губок,

кареток с преобразователем и настроечным винтом, допустимой ширины измерительной скобы. Поэтому основные конструктивные размеры предварительно принимаются с учётом указанных факторов, а затем проводятся проверочные расчёты, возникающих напряжений, при максимально возможных деформациях пружин в процессе измерения и арретирования.

1. Расчёт напряжений на изгиб.

Максимальное напряжение на изгиб

$$\sigma_{II} = \frac{M_{II}}{W}, \quad (5.1)$$

где $M_{II} = \frac{P\ell}{4}$ – изгибающий момент в опасном сечении (эпюра, рис. 5.4) с учётом двух пружин параллелограмма;
 P – поперечное усилие.

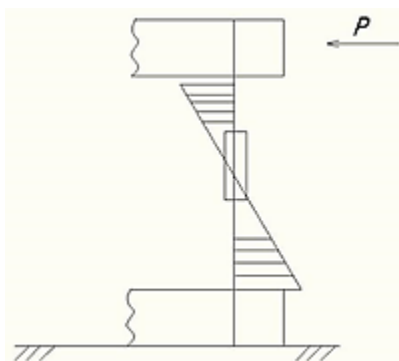


Рис. 5.4 . Расчётная схема при определении напряжения в пружине

Момент сопротивления сечения пружины равен:

$$W = \frac{bh^2}{6}. \quad (5.2)$$

Следовательно, напряжение изгиба определится из следующего выражения:

$$\sigma_{II} = \frac{3P\ell}{2bh^2}. \quad (5.3)$$

При смещении подвижной каретки параллелограмма на величину арретирования Δx соответствующее усилие деформации составляет:

$$P = k_x \Delta x, \quad (5.4)$$

где k_x – коэффициент жёсткости параллелограмма с накладками.

Коэффициент жёсткости параллелограмма с накладками определяется из выражения:

$$k_x = \frac{2Eb}{(1-m^3)} \left(\frac{h}{\ell} \right)^3. \quad (5.5)$$

Подставив выражение 5.5 в формулу 5.4 получим:

$$P = \frac{2Eb}{(1-m^3)} \left(\frac{h}{\ell} \right)^3 \Delta x. \quad (5.6)$$

Тогда максимальное напряжение изгиба пружины параллелограмма при арретировании его на величину Δx составит:

$$\sigma_{II} = \frac{3E}{(1-m^3)} \left(\frac{h}{\ell} \right) \left(\frac{\Delta x}{\ell} \right) \leq [\sigma], \quad (5.7)$$

где $E = 2 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости первого рода для стали; $[\sigma] = 150 \dots 190$ МПа – допускаемое напряжение.

Если расчетная величина напряжения изгиба превышает допускаемое напряжение, то необходимо изменить конструктивные параметры.

2. Расчёт пружинного параллелограмма на устойчивость.

При установке измерительной скобы на поверхность контролируемой детали (рис. 5.5, а) и измерении диаметра в процессе её вращения (рис. 5.5, б) параллелограмм нагружается усилием F , которое может привести к потере его устойчивости.

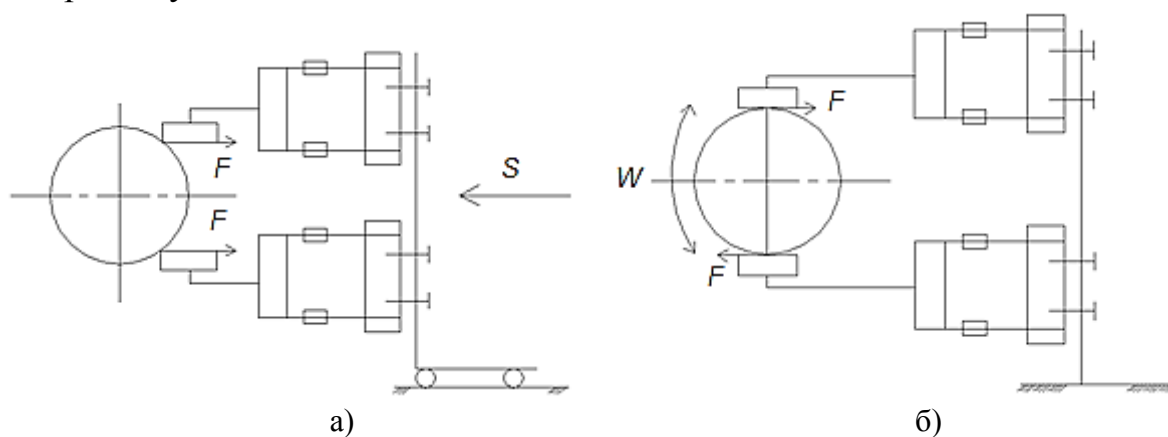


Рис. 5.5. Схемы измерения

Попытки получить продольную устойчивость без применения накладок в средней части пружин приводит к необходимости слишком большого увеличения толщины плоских пружин.

Критическое значение $F_{кр}$ продольного усилия определяется из выражения (рис. 5.6)

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 Eb}{12} \frac{h^3}{(1-m)^2 \ell^2}. \quad (5.8)$$

По сравнению с пружиной тех же размеров без накладок критическая

сила увеличивается в $\frac{1}{(1-m)^2}$ раз.

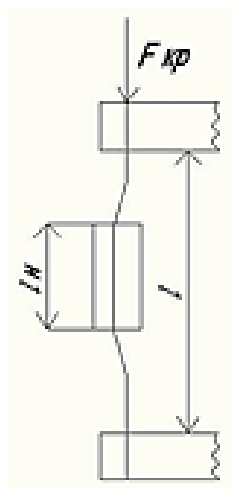


Рис. 5.6. Расчётная схема для определения продольной устойчивости пружин

5.3. Индивидуальные расчётные задания

Исходные данные для расчёта пружинного параллелограмма представлены в табл. 5.1 и выбираются по последней цифре номера зачётной книжки.

Таблица 5.1 – Исходные данные										
Наименование параметра	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рабочая длина пружины ℓ , мм	20	30	40	50	20	30	40	50	20	30
Ширина пружины b , мм	15	20	25	20	15	25	30	20	25	25
Толщина пружины h , мм	0,15	0,2	0,3	0,15	0,2	0,3	0,2	0,15	0,15	0,2
Усилие F , Н	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3
Величина арретирования Δx , мм	1,5	2,0	2,5	3,0	1,5	2,0	2,5	3,0	2,5	1,5

5.4. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические положения.
2. Рассчитать коэффициент жёсткости пружинного параллелограмма (формула 5.5).
3. Рассчитать усилие деформации параллелограмма (формула 5.6).
4. Определить действующие напряжения на изгиб σ_{II} (формула 5.7), сравнить с допускаемыми.

5. Рассчитать критическое значение продольного усилия $F_{кр}$ и сравнить с заданной величиной F .
6. Выполнить эскиз пружинного параллелограмма.

5.5. Содержание отчёта

1. Наименование и цель занятия.
2. Основные теоретические положения.
3. Таблица исходных данных для расчёта.
4. Расчёт параметров: k_x ; P ; σ_{II} ; $F_{кр}$.
5. Эскиз пружинного параллелограмма.

5.6. Контрольные вопросы

1. Достоинства и недостатки упругих параллелограммов?
2. Описать конструкцию измерительной скобы.
3. По каким напряжениям проводится прочностной расчёт пружины параллелограмма?
4. Суть расчёта пружинного параллелограмма на устойчивость?

6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

РАСЧЕТ ИНДУКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СОЛЕНОИДНОГО ТИПА

6.1. Цель работы

Изучение конструкции и методики расчета индуктивного преобразователя соленоидного типа.

6.2. Теоретические положения

6.2.1. Конструкция и принцип действия преобразователя

Для измерения линейных перемещений в диапазоне от 0 до 10...20 мм применяются индуктивные преобразователи с разомкнутой магнитной цепью, так называемые преобразователи соленоидного типа.

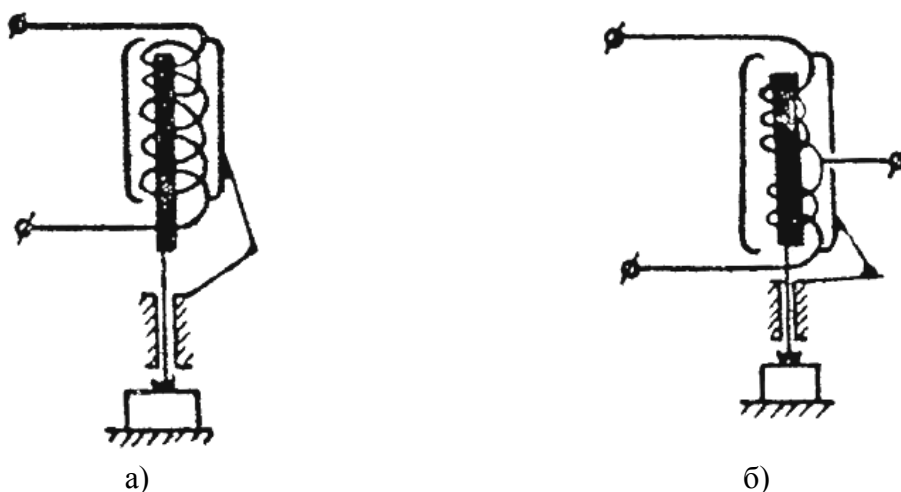


Рис. 6.1. Схемы индуктивных преобразователей

На рис. 6.1 приведены схемы недифференциального (рис. 6.1, а) и дифференциального (рис. 6.1, б) преобразователя соленоидного типа. Преобразователь представляет собой катушку, внутри которой помещен ферромагнитный сердечник. При перемещении сердечника внутри катушки изменяется ее индуктивность L , при изменении которой меняется выходное напряжение или ток.

$$L = \frac{\omega^2}{R_m}, \quad (6.1)$$

где ω – число витков катушки;

R_m – сопротивление магнитопровода.

Конструкция широкопредельного индуктивного преобразователя показана на рис. 6.2.

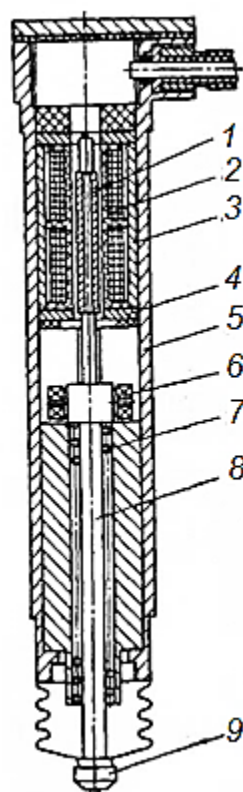


Рис. 6. 2. Конструкция индуктивного преобразователя соленоидного типа

Преобразователь (рис. 6.2) собран в цилиндрическом корпусе с наружным диаметром 28 мм. Измерительный стержень 8 преобразователя установлен на шариковой направляющей 7. На одном конце стержня установлен измерительный наконечник 9, оснащенный синтетическим алмазом. На другом его конце установлен ферритовый трубчатый сердечник 1. На стержне 8 закреплены два шарикоподшипника 6, предохраняющие его от поворота.

Перемещение трубчатого сердечника преобразователя вызывает изменение сопротивления двухсекционной катушки 2, магнитопровод которой состоит из ферритовых шайб 4 и экранирующей втулки 3 из магнитомягкой стали. Выводы проводов выполнены экранированным кабелем. Преобразователь надежно герметизирован.

6.2.2. Исходные данные для расчета

Исходными данными для расчета преобразователя являются следующие параметры:

- требуемая относительная чувствительность преобразователя δS , мм⁻¹;
- сопротивление катушки Z , Ом;
- частота питающего напряжения f , Гц;
- допустимая погрешность от нелинейности характеристики ΔI_H , мкм;
- заданный диапазон измерения D , мм.

Конструктивные размеры магнитопровода преобразователя показаны на рис. 6.3.

- длина катушки ℓ_k , мм;
- длина сердечника $\ell_c = 1,1 \ell_k$, мм;
- радиус катушки R , мм;
- радиус сердечника r , мм;
- добротность катушки Q .

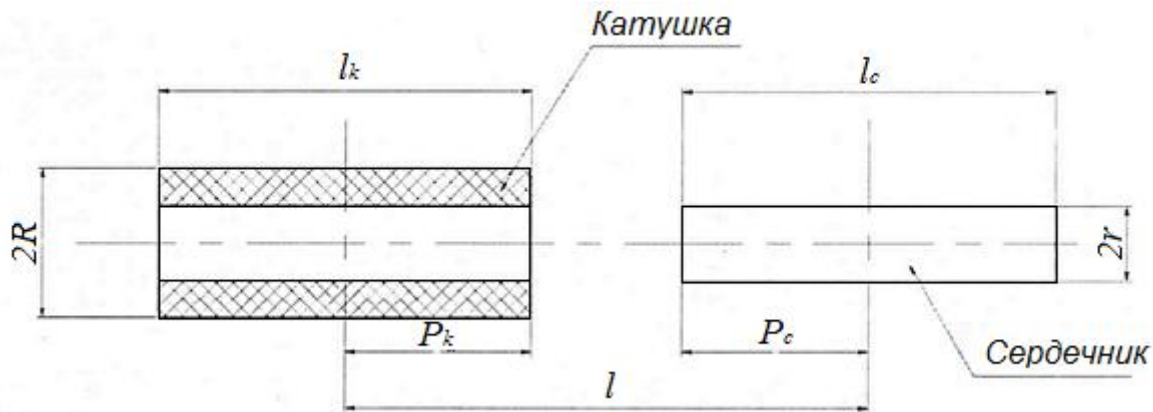


Рис. 6.3. Конструктивные размеры магнитопровода

Добротность катушки преобразователя характеризует величину потерь энергии в ней на перемагничивание и вихревые потоки и определяются из выражения.

$$Q = \frac{fL}{R_{\text{полн}}}, \quad (6.2)$$

где $R_{\text{полн}} = R_{\text{пр}} + R_{\text{э}}$ – полное сопротивление катушки преобразователя;

$R_{\text{пр}}$ – сопротивление провода катушки;

$R_{\text{э}} = \frac{2P}{I_{\text{max}}^2} = \frac{A}{(R_{\text{МС}} + R_{\text{МЗ}})^2}$ – сопротивление в схеме замещения индуктивного

преобразователя (рис. 6.4), на котором должна расходоваться мощность P , равная мощности потерь в сердечнике;

$A = \frac{2(\sigma_{\text{П}} + \sigma_{\text{В}})Gfw^2}{S^2}$ – постоянная величина для конкретного

преобразователя, не зависящая от величины зазора;

$R_{\text{МС}}$ – магнитное сопротивление сердечника;

$R_{\text{МЗ}}$ – магнитное сопротивление воздушного зазора;

$\sigma_{\text{П}}$ – коэффициент потерь на перемагничивание;

$\sigma_{\text{В}}$ – коэффициент потерь на вихревые токи.

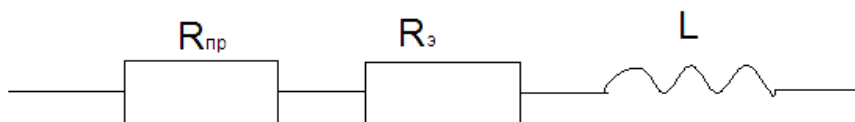


Рис. 6.4. Схема замещения индуктивного преобразователя

6.2.3. Методика расчета

1. Определение относительной максимальной чувствительности.

Относительная чувствительность δS определяется как отношение

$$\delta S = \frac{S}{L}, \quad (6.3)$$

где $S = \frac{\Delta L}{D}$ Гн/м – абсолютная чувствительность;

ΔL – изменение индуктивности катушки, Гн;

D – диапазон измерений, м.

Значение максимальной чувствительности определяется по формуле

$$\Delta S_{\max} = \frac{\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{2P_c + P_k}\right)^2}} - \frac{2}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{P_k}\right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{2P_c - P_k}\right)^2}}}{\sqrt{(2P_c + P_k)^2 + R^2} - \sqrt{(2P_c - P_k)^2 + R^2}}, \quad (6.4)$$

где $P_c = \ell_c / 2$; $P_k = \ell_k / 2$.

Поскольку преобразователь дифференциальный, то $\delta S_{\max}$ равна

$$\delta S_{\max, \text{диф.}} = 2 \delta S_{\max}. \quad (6.5)$$

Должно выполняться условие

$$\delta S_{\max, \text{диф.}} \geq \delta S_T.$$

2. Определение требуемой индуктивности преобразователя

$$L = \frac{Z}{2\pi f \sqrt{\frac{1}{Q^2} + 1}}. \quad (6.6)$$

3. Расчет числа витков ω катушки

$$\omega = \sqrt{\frac{8LP_c P_k}{\pi r^2 \mu_0 (\mu_c - 1) \left(\sqrt{(2P_c + P_k)^2 + R^2} - \sqrt{(2P_c - P_k)^2 + R^2} \right)}}, \quad (6.7)$$

где $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнитная постоянная;

$\mu_c = 44$ – относительная магнитная проницаемость.

4. Расчет на вместимость количества витков проволоки заданного диаметра d в принятые габариты катушки

$$\omega' = \frac{4K\ell_k(R-r)}{\pi d^2}, \quad (6.8)$$

где $K = 0,7 \dots 0,9$ – коэффициент заполнения катушки;

d – диаметр провода.

Если расчетное число витков не помещается в заданные габаритные размеры катушки, т.е. $\omega' < \omega$, то можно увеличить частоту питающего напряжения f , а затем пересчитать требуемую индуктивность L по формуле 6.4 и найти новое число витков катушки (формула 6.5).

5. Определение индуктивности катушки в среднем положении сердечника:

$$L_m = \frac{A}{R} \left(\sqrt{(2P_c + P_k)^2 + R^2} - \sqrt{(2P_c - P_k)^2 + R^2} \right), \quad (6.9)$$

где $A = \frac{\pi r^2}{8} \mu_0 (\mu_c - 1) \frac{\omega^2 R}{P_c P_k}$.

6. Статическая характеристика преобразователя

Зависимость индуктивности L от параметра m имеет вид

$$L = A \cdot \left(\sqrt{(m + P_1)^2 + 1} - \sqrt{(m - P_1)^2 + 1} + \sqrt{(m + P_2)^2 + 1} - \sqrt{(m - P_2)^2 + 1} \right), \quad (6.10)$$

где $\ell = 1,1 \ell_c$ – перемещение сердечника;

$$m = \frac{\ell}{R}; \quad P_1 = \frac{P_c + P_k}{R}; \quad P_2 = \frac{P_c - P_k}{R}.$$

Выражение 6.10 с учетом $m = \frac{\ell}{R}$ можно переписать в виде:

$$L = A \left[\sqrt{\left(\frac{\ell}{R} + P_1 \right)^2 + 1} + \sqrt{\left(\frac{\ell}{R} - P_1 \right)^2 + 1} - \sqrt{\left(\frac{\ell}{R} + P_2 \right)^2 + 1} - \sqrt{\left(\frac{\ell}{R} - P_2 \right)^2 + 1} \right]. \quad (6.11)$$

Для нахождения точек построения статической характеристики, как зависимости $L = f(\ell)$ необходимо задаться рядом значений ℓ от 0 до $1,1 \ell_c$ с шагом 0,5 мм или 1 мм.

7. Определение максимальной абсолютной чувствительности преобразователя.

$$S_{\max} = \delta S_{\max. \text{диф.}} L_{\max}. \quad (6.12)$$

Значение $\delta S_{\max. \text{диф.}}$ и L_m определены в пункте 1 и 5. Полученное значение $S_{\max}$ определено в зависимости от перемещения сердечника ℓ .

8. Определение чувствительности $S_{\max(m)}$ в функции от параметра $m = \frac{\ell}{R}$.

$$S_{\max(m)} = S_{\max} / \frac{dm}{dl} = S_{\max} R. \quad (6.13)$$

9. Уравнение линеаризирующей прямой для функции $L = f(m)$

$$L' = S_{\max(m)} \left(m - \frac{p_c}{R} \right) + L_m. \quad (6.14)$$

Задаваясь рядом значений m получим точки, через которые проведем линеаризирующую прямую.

10. Определение погрешности измерения от нелинейности статической характеристики.

$$\Delta l_{\text{Нрасч.}} = \frac{1}{S_{\max(m)}} (L_m - L') \leq \Delta l_H. \quad (6.15)$$

После подстановки L' согласно 6.14 в формулу 6.15 имеем

$$\Delta l_{\text{Нрасч.}} = \frac{1}{S_{\max(m)}} \left[2L_m - S_{\max(m)} \left(m - \frac{p_c}{R} \right) \right] \leq \Delta l_H. \quad (6.16)$$

6.3. Индивидуальные расчетные задания

Исходные данные для расчета индуктивного преобразователя в табл. 6.1 и выбираются по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 6.1 – Исходные данные

Наименование параметра	№ варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Требуемая относительная чувствительность δS_T , мм	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2
Сопротивление катушки Z , Ом	1000									
Частота питающего напряжения f , Гц	2000									
Доп. погрешность от нелинейности статич. характеристики Δl_H , мкм	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1
Диаметр провода d , мм	0,08	0,1	0,12	0,08	0,1	0,12	0,08	0,1	0,12	0,08

Продолжение табл. 6.1

Диапазон измерения D , мм	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5
Длина катушки ℓ_k , мм	15	10	8	15	10	8	15	10	8	15
Радиус катушки R , мм	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5
Радиус сердечника r , мм	3,0									
Добротность катушки Q	8	4	10	8	4	10	8	4	10	8

6.4. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические положения.
2. Выполнить эскиз магнитопровода преобразователя (рис. 6.3) с указанием заданных (табл. 6.1) геометрических размеров.
3. Рассчитать относительную максимальную чувствительность дифференциального преобразователя $\delta S_{\max.\text{диф.}}$ и проверить выполнение условия $\delta S_{\max.\text{диф.}} \geq \delta S_T$.
4. Рассчитать требуемую индуктивность по формуле 6.4, число витков катушки 10 и проверить их на вместимость в габаритные размеры катушки.
5. Определить индуктивность катушки L_m .
6. Рассчитать значения индуктивности L при перемещении сердечника ℓ от 0 до $1,1 \ell_c$ мм с дискретностью 1 мм. Данные расчета занести в табл. 6.2.

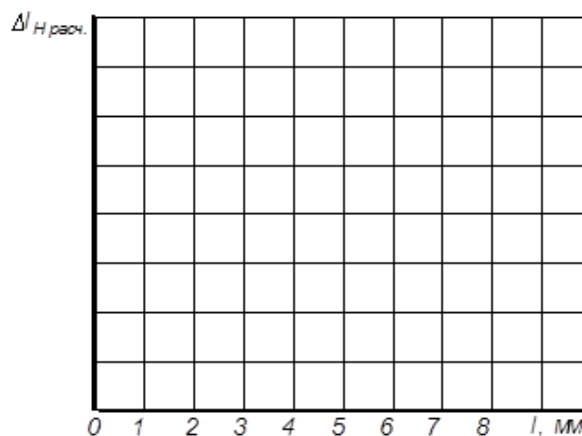
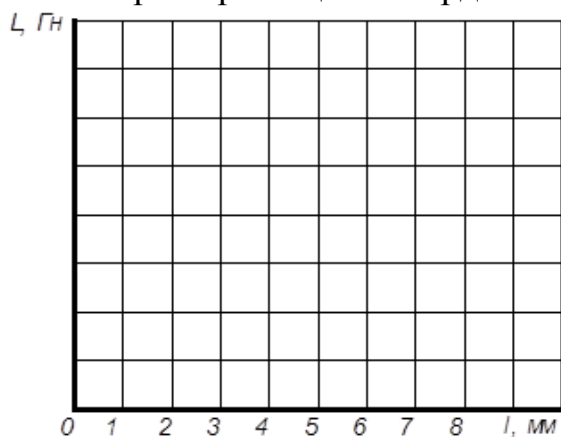
Таблица 6.2 – расчетные данные

Наименование параметра	Перемещение сердечника ℓ , мм									
	0	1	2	3	4	5	6	...	...	
Параметр $m_i = \frac{\ell}{R}$										
Индуктивность L , Гн										
Погрешность от нелинейности $\Delta I_{Hpacч.}$, мм										

7. Рассчитать абсолютную максимальную чувствительность преобразователя $S_{\max}$ и $S_{\max}(m)$.
8. Рассчитать погрешность от нелинейности статической характеристики $\Delta I_{\text{Нрасч.}}$ при перемещении сердечника ℓ от 0 до $1,1 \ell_c$ мм

$\left(m_i = \frac{\ell}{R}\right)$. Расчетные значения m и $\Delta I_{\text{Нрасч.}}$ занести в табл. 6.2.

9. Построить статическую характеристику преобразователя $L=f(\ell)$ и зависимость погрешность от нелинейности статической характеристики $\Delta I_{\text{Нрасч.}}$ при перемещении сердечника ℓ от 0 до $1,1 \ell_c$ мм.



10. Проверить соответствие расчетной величины погрешности $\Delta I_{\text{Нрасч.}}$ допускаемой $\Delta I_{\text{Н}}$ в заданном диапазоне измерений D .

6.5. Содержание отчета

1. Наименование и цель занятия.
2. Основные теоретические положения.
3. Таблица исходных данных для расчета.
4. Эскиз магнитопровода преобразователя.
5. Расчет параметров $\delta S_{\text{макс.диф.}}$; ω ; L_m ; $L=f(\ell)$; $S_{\text{макс}}$; $S_{\text{макс}(m)}$; $\Delta I_{\text{Нрасч.}}$.
6. Таблица 6.2 расчетных данных.
7. Графики зависимости $L=f(\ell)$ и $\Delta I_{\text{Нрасч.}} = f(\ell)$.
8. Выводы.

6.6. Контрольные вопросы

1. За счет чего повышается точность и чувствительность индуктивного преобразователя дифференциального типа?
2. Что такое индуктивность и добротность катушки?
3. Конструкция индуктивного преобразователя?
4. Как рассчитать относительную чувствительность преобразователя?
5. Как определить погрешность измерения от нелинейности характеристики преобразователя?

7. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИБОРОВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

7.1. Цель занятия

Изучение составляющих суммарной погрешности измерения и приобретение навыков расчета погрешности приборов активного контроля размеров деталей в процессе шлифования.

7.2. Теоретические положения

7.2.1. Общие сведения

В отличие от контроля универсальными средствами, автоматический контроль в большинстве случаев является дискретным. При автоматическом контроле обычно фиксируются предельные размеры контролируемых деталей или подаются какие-либо управляющие команды (например, команды на переключение станка с чернового на чистовое шлифование, с чистового шлифования на выхаживание и конец обработки).

Дискретность автоматического контроля обуславливает его точностные особенности. На точность средств активного контроля в большинстве случаев не оказывают влияние кинематические и технологические погрешности. Приборы активного контроля работают в более сложных условиях, чем средства автоматического послеоперационного контроля, связанных с наличием абразивной пыли, влаги, стружки, вибраций узлов станка и контролируемых деталей, силовых и тепловых деформаций размерных технологических и метрологических цепей, поэтому методы расчета их погрешности отличаются друг от друга. Ниже приведена методика расчета погрешности приборов управляющих процессом шлифования деталей.

7.2.2. Структура и характеристика составляющих суммарной погрешности измерения

Точность прибора активного контроля характеризуется некомпенсируемой им величиной погрешности Δ . Результаты автоматического контроля в процессе обработки определяется выходным сигналом, свидетельствующим о достижении деталью требуемого настроенного значения. У приборов активного контроля (ПАК) погрешность Δ является погрешностью выдачи окончательной команды.

Погрешность Δ включает основные погрешности, присущие ПАК в нормальных условиях и дополнительные, зависящие от условий эксплуатации.

К основным погрешностям относятся:

- предел допускаемой погрешности срабатывания команд Δ_{cp}^o ;
- предел допускаемой погрешности настройки окончательной команды Δ_n^o ;
- предел допускаемого смещения уровня настройки после 25000 или 65000 срабатываний Δ_{scm} .

Дополнительные погрешности при эксплуатации прибора могут возникать под влиянием следующих причин:

- инерционность прибора;
- колебания скорости съема припуска;
- колебания температуры контролируемых деталей и средства контроля;
- нестабильности установки измерительных наконечников на контролируемую деталь и др.

Таким образом, суммарную погрешность измерения Δ_Σ можно представить в следующем виде:

$$\Delta_\Sigma = \pm \left(\Delta_{scm} + \sum_{i=1}^n \Delta_{s_i} \right) \pm \sqrt{\Delta_{cp}^2 + \Delta_n^2 + \sum_{i=1}^n \Delta_i^2}, \quad (7.1)$$

где $\sum_{i=1}^n \Delta_{s_i}$ – сумма дополнительных систематических составляющих погрешности;

$\sum_{i=1}^n \Delta_i^2$ – сумма дополнительных случайных составляющих погрешности.

7.2.3. Основные погрешности

Точностные характеристики ПАК указаны в табл. 7.1. Предел допускаемого размаха срабатывания Δ_{cp}^o характеризует нестабильность выдачи окончательной команды и является случайной погрешностью. Предел допускаемой погрешности настройки окончательной команды прибора Δ_n^o характеризует точность, с которой он может быть настроен на заданный размер с помощью собственных настроечных элементов. Эта погрешность для серии настроек принимается как случайная.

Предел допускаемого смещения настройки после 25000 циклов срабатывания команд Δ_{scm} проявляется во время непрерывной работы ПАК и вызывается измерением параметров электронного блока и электроэрозионным износом контактов. Эта погрешность носит систематический характер.

Таблица 7.1 – Основные погрешности ПАК

Вид шлифования	Класс точности прибора	Предел допускаемого размаха срабатывания команд $\overset{o}{\Delta}_{cp}$, мкм			Предел допускаемой погрешности настройки окончательной команды, Δ_n мкм	Предел допускаемого смещения настройки после 25000 циклов срабатывания $\Delta_{ссм}$, мкм
		Окончательной	Предварительной, на участке			
			от 0 до +10 мкм	В середине диапазона регулиру- вания команд		
Плоское	1	1	1	4	1	2,0
	2	2	2	6	2	4,0
Круглое	1	0,5	0,5	2	0,5	1,2
	2	0,8	1,0	4	1	1,5
	3	1,5	2,0	6	2	2,0
	4	2,0	3,0	8	4	4,0

7.2.4. Дополнительные погрешности

В качестве дополнительных погрешностей, возникающих в процессе эксплуатации ПАК, выделяют следующие:

- динамическая погрешность;
- температурные погрешности;
- погрешность, связанная с неправильной установкой измерительных наконечников;
- погрешность от износа измерительных наконечников.
- силовая погрешность.

1. Динамическая погрешность

Динамическая погрешность прибора возникает в результате его инерционности и колебания скорости съема припуска с поверхности обрабатываемой детали, т.е. скорости изменения контролируемого размера.

Вследствие инерционности прибора его выходной сигнал отстает от входного сигнала (изменения размера детали) и выдача управляющей команды происходит после достижения деталью заданного размера.

При постоянной скорости изменения контролируемого размера (съема припуска при шлифовании) возникает систематическая динамическая погрешность измерения, определяемая из выражения:

$$\Delta_{sД} = vt_o, \quad (7.2)$$

где v – скорость съема припуска;

t_o – постоянная времени прибора, характеризующая запаздывание выдачи управляющей команды.

Систематическая составляющая динамической погрешности измерения $\Delta_{sД}$ может быть скомпенсирована смещением уровня настройки окончательной команды.

Случайная составляющая динамической погрешности $\overset{o}{\Delta}_{Д}$ измерения возникает вследствие колебания скорости съема припуска ΔV

$$\overset{o}{\Delta}_{Д} = \Delta V t_o. \quad (7.3)$$

Постоянная времени прибора зависит от принципа измерения, положенного в основу схемы преобразования сигнала и конструктивных параметров преобразователя.

Постоянная времени пневматических приборов составляет $t_o = 0,3 \dots 0,5$ с; индуктивных приборов – $t_o = 0,05 \dots 0,1$ с.

Колебание скорости съема припуска ΔV может быть вычислено по формуле

$$\Delta V = (0,1 \dots 0,2) v, \quad (7.4)$$

где v – скорость съема припуска, мкм/с.

Величина скорости съема припуска рассчитывается по формуле

$$V = \frac{10^3 S_p \cdot n}{60}, \quad (7.5)$$

где S_p – радиальная подача шлифовального круга при врезанном шлифовании, $S_p = 0,001 \dots 0,005$ мм/об.;

$n = \frac{V_{Д}}{\pi d}$ – скорость вращения детали, об/мин;

$V_{Д} = 20 \dots 40$ м/мин – окружная скорость детали;

d – диаметр обрабатываемой поверхности детали, м.

После подстановки n в формулу (7.5) имеем:

$$V = \frac{10^3 S_p \cdot V_{Д}}{60 \pi d}. \quad (7.6)$$

На рис 7.1 показана зависимость случайной динамической погрешности $\overset{o}{\Delta}_{Д}$ от колебания скорости ΔV изменения контролируемого размера при постоянной времени прибора $t_o = 0,05; 0,1; 0,3; 0,5$ с.

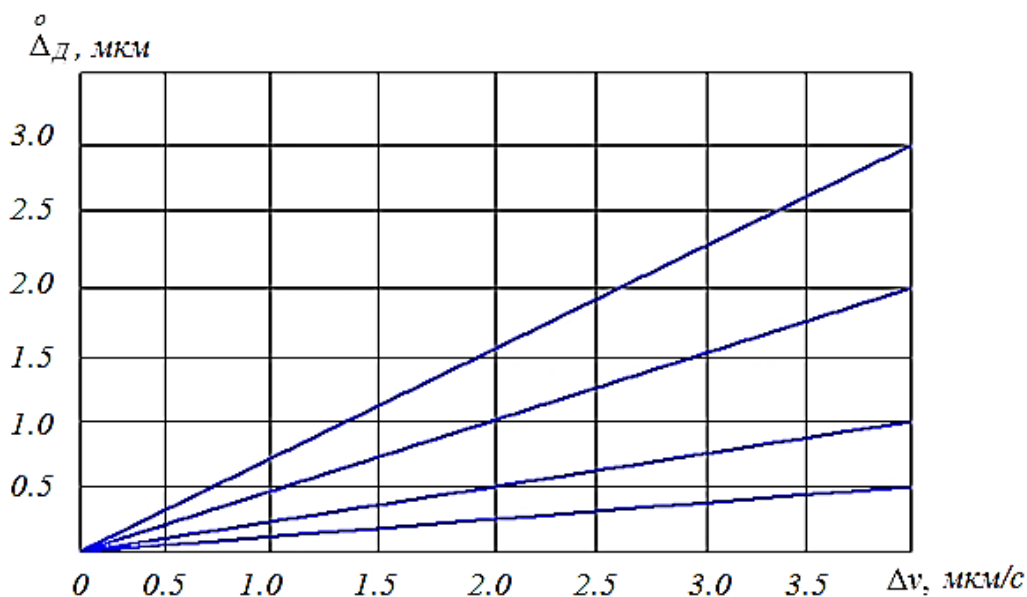


Рис. 7.1. Зависимость $\Delta_D^{\sigma} = f(\Delta V)$

7.2.5. Погрешность от неправильного расположения измерительных наконечников

При измерении наружных поверхностей валов могут использоваться как цилиндрические, так и сферические измерительные наконечники, при измерении внутренних поверхностей (отверстий) – сферические.

Основные виды первичных ошибок измерительных наконечников следующие:

- смещение сферических измерительных наконечников с диаметральной плоскости детали приводит к появлению погрешности измерения (табл. 7.2, п.1, 2, 8, 9). С целью исключения этой составляющей погрешности при измерении наружных поверхностей используется цилиндрические измерительные наконечники. Однако при их использовании возникает погрешность, связанная с отклонением от параллельности наконечников (табл. 7.2, п.7).

- погрешность от перекоса плоскости расположения измерительных наконечников (табл. 7.2, п.3, 4, 5, 6).

Систематическая составляющая этой погрешности связана с неправильным первоначальным положением измерительной скобы и обычно компенсируется настройкой прибора. Случайная составляющая возникает из-за наличия люфтов и нестабильности подвода измерительной скобы в рабочее положение.

Погрешности от неправильного расположения и формы измерительных наконечников входят в расчет как рандомизированные систематические погрешности. Они проявляются, как правило, в тех случаях, когда контролируемая деталь отличается своей формой и размерами от рабочего эталона. При оценке смещения измерительных

наконечников, вызываемого различием размеров контролируемой детали и рабочего эталона, следует учитывать, у какой из границ поля допуска детали изготавливается рабочий эталон и каково допустимое смещение наконечников при установке эталона. Если при двух предельном измерении пользуются двумя рабочими эталонами, расположенными на границах интервала допуска, то этим смещением можно пренебречь.

В табл. 7.2 рассмотрены схемы измерения и источники возникновения погрешностей, связанные со смещением линии измерения, перекосом оси детали, отклонением от параллельности и сферичности измерительных наконечников, даны выражения для расчета и виды законов распределения погрешностей измерения.

Несовпадение линии измерения с линией настройки при измерении цилиндрических деталей по схемам 1 и 2 табл. 7.2 может являться следствием, как неправильного положения наконечников, так и погрешности базирования.

Погрешность от несовпадения линии измерения с линией настройки с учётом смещения линии настройки с диаметрального сечения вычисляется по формуле:

$$\Delta = \frac{b(b + 2a)}{R \pm r}, \quad (7.7)$$

где a – смещение линии настройки с диаметрального сечения;

b – несовпадение линии измерения с линией настройки;

R – радиус измеряемой детали;

r – радиус измерительного наконечника.

В формуле (7.7) знак «+» относится к измерению наружных диаметров, знак «–» – внутренних.

Погрешность от перекоса оси и взаимного смещения измерительных наконечников (табл. 7.2, схема 6) при контроле конусов вычисляется по формуле:

$$\Delta = \frac{a \cdot \varphi}{\cos^2 \frac{\gamma}{2}} + \left(1 - 2tg^2 \frac{\gamma}{2} \right) \left(R_k \pm \frac{r}{\cos^2 \frac{\gamma}{2}} \right) \cdot \varphi^2, \quad (7.8)$$

где a – взаимное смещение наконечников или сопел;

φ – угол перекоса оси детали в радианах;

γ – полный угол конуса (для цилиндрических деталей считать $\gamma = 0$);

R_k – контролируемый радиус;

r – радиус измерительного наконечника.

В формуле 7.8 знак "+" относится к измерению наружных диаметров, а "–" – внутренних.

Для цилиндрических деталей (табл. 7.2, схемы 3, 4) при $\gamma = 0$

формула 7.8 при выражении угла перекося в радианах примет вид:

$$\Delta = a \cdot \varphi + (R + r) \cdot \varphi^2. \quad (7.9)$$

При выражении угла перекося φ в минутах погрешность вычисляется по формуле:

$$\Delta = 0,3 \cdot 10^{-3} a \cdot \varphi' + 0,45 \cdot 10^{-7} (R + r) \varphi'^2. \quad (7.10)$$

Формула (7.10) представляет собой двучлен, в котором первый член зависит от смещения наконечников a и угла перекося φ , а второй от угла перекося и величины контролируемого диаметра.

7.2.6. Температурная погрешность

Температурная погрешность вызывается разностью температур измеряемой детали и рабочего эталона, колебанием температур измеряемых деталей, отклонением температуры элементов средства измерения и рабочего эталона от нормальной и колебанием этих температур. Причиной отклонения и колебания температуры деталей может быть их нагрев в процессе обработки и недостаточная выдержка при нормальной температуре, а также нагрев или охлаждение измерительных средств при колебаниях температуры окружающей среды.

Систематическая температурная погрешность определяется как:

$$\Delta_{st} = L (\alpha_d t_d - \alpha_m t_m) \pm 11,6 \cdot 10^{-6} \cdot LV_t, \quad (7.11)$$

где L – размер контролируемой детали;

α_d, α_m – температурный коэффициент линейного расширения детали и рабочего эталона соответственно;

t_d, t_m – средняя температура деталей и рабочего эталона в потоке;

V_t – температурный режим средства измерения.

Случайная температурная погрешность подсчитывается по формуле:

$$\sigma(\Delta_t) = \frac{L\alpha_d}{4} \cdot \Delta t_d, \quad (7.12)$$

где Δt_d – максимальное колебание температуры деталей в потоке.

Первый член в формуле (7.11) – $L (\alpha_d t_d - \alpha_m t_m)$ – представляет собой погрешность, вносимую разностью средних температур и различием температурных коэффициентов линейного расширения детали и рабочего эталона, а второй – $11,6 \cdot 10^{-6} \cdot LV_t$ – погрешность, вносимую отклонением температуры меры и средства контроля от нормальной, а также изменением температуры средства измерения в период между поднастройками.

Таблица 7.2 – Погрешность от неправильного расположения измерительных наконечников

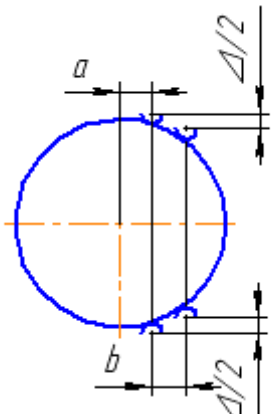
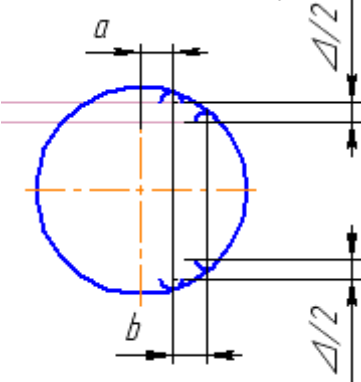
№	Схема	Источник погрешности	Величина погрешности	Обозначение и примечания
1.	1	2	3	4
1.		a – смещение линии настройки с диаметрального сечения; b – смещение линии измерения с линии настройки.	$\Delta = \frac{b(b + 2a)}{R + r}$	Здесь и далее R – радиус детали, r – радиус наконечника. При $b < a$ закон распределения близок к закону Гаусса (нормальному) $M = 0$; $\sigma = \Delta/2$.
2.		a – смещение линии настройки с диаметрального сечения; b – смещение линии измерения с линии настройки.	$\Delta = \frac{b(b + 2a)}{R - r}$	При $b > a$ закон распределения близок к закону Максвелла $M = \Delta/2,8$; $\sigma = \Delta/3,6$.

Схема		Источник погрешности	Величина погрешности	Обозначение и примечания
№	1	2	3	4
3.		a – взаимное смещение наконечников; φ – угол перекося детали, радиан.	$\Delta = a\varphi + (R + r)\varphi^2$	Закон распределения Гаусса (нормальный)
4.		a – взаимное смещение наконечников; φ – угол перекося детали, радиан.	$\Delta = a\varphi + (R - r)\varphi^2$	Закон распределения Гаусса (нормальный)
5.		a – расстояние между осями ножей; φ – угол перекося детали, радиан; b – ширина ножей.	$\Delta = (a + b)\varphi + R\varphi^2$	Закон распределения Гаусса (нормальный)

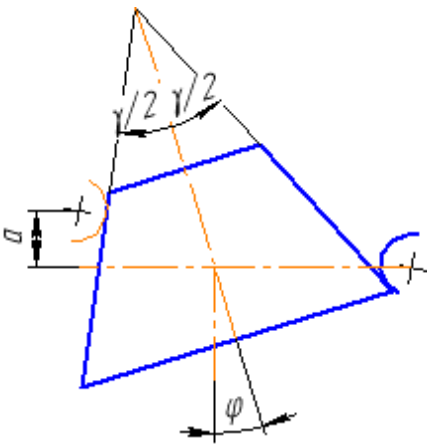
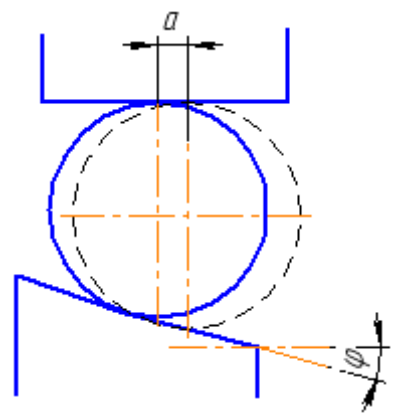
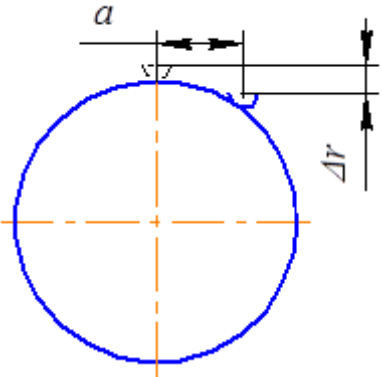
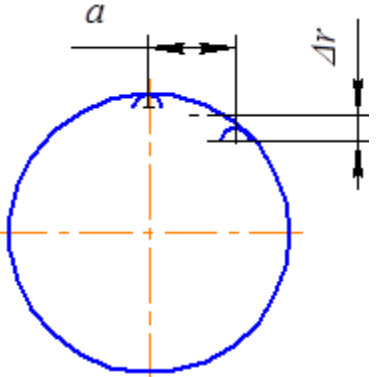
Схема		Источник погрешности	Величина погрешности	Обозначение и примечания
№	1	2	3	4
6.		a – расстояние между наконечниками; φ – угол перекося конической детали, радиан.	$\Delta = \frac{a\varphi}{\cos^2 \frac{\gamma}{2}} + \left(1 - 2tg^2 \frac{\gamma}{2}\right) \left(R_k + \frac{r}{\cos^2 \frac{\gamma}{2}}\right) \varphi^2$	γ – угол конуса; R_k – номинальный (контролируемый) радиус сечения конуса. Закон распределения Максвелла.
7.		a – смещение детали между наконечниками; φ – отклонение от параллельности плоских или цилиндрических измерительных наконечников, радиан.	$\Delta = a\varphi^2$	Закон распределения – равномерный

Схема		Источник погрешности	Величина погрешности	Обозначение и примечания
№	1	2	3	4
8.		a – смещение наконечников с диаметральной плоскости; Δr – отклонение от сферичности наконечника	$\Delta = 0,64 \frac{a\Delta r}{R + r}$	Закон распределения Гаусса (нормальный)
9.		a – смещение наконечников с диаметральной плоскости; Δr – отклонение от сферичности наконечника	$\Delta = 0,64 \frac{a\Delta r}{R - r}$	Закон распределения Гаусса (нормальный)

Температурный режим – есть условная, выраженная в градусах Цельсия разность температур объекта измерения и измерительного средства, которая при определенных, идеальных условиях вызовет ту же температурную погрешность, как и весь комплекс реально действующих причин.

Идеальные условия сводятся к тому, что прибор и деталь имеют постоянную по объёму температуру, а коэффициент линейного расширения α материалов, из которого они изготовлены, равен $11,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Температурный режим V_t определяется по формуле:

$$V_t = \sqrt{\left[\Delta t_1 \cdot \frac{(\alpha_{np} - \alpha_n)_{max}}{11,6 \cdot 10^{-6}} \right]^2 + \left[\Delta t_2 \cdot \frac{\alpha_{max}}{11,6 \cdot 10^{-6}} \right]^2}, \quad (7.13)$$

где $(\alpha_{np} - \alpha_n)_{max}$ – максимально возможная разность значения коэффициентов линейного расширения материала средства контроля и меры;

α_{max} – максимально значение коэффициента линейного расширения материала средства контроля и меры;

Δt_1 – предел допускаемого отклонения температуры средства контроля и рабочего пространства от 20°C ;

Δt_2 – колебание температуры за время между поднастройками.

Если температурные погрешности, определенные для данных температурных режимов, оказываются настолько существенными, что приводят к превышению предела допускаемой погрешности, то следует пересмотреть требования технического задания к температурным режимам в потоке деталей или в помещении.

Если изменение температурных режимов нецелесообразно или невозможно, то можно рекомендовать компенсацию температурной погрешности.

7.2.7. Погрешность от износа измерительных наконечников

Износ измерительных наконечников носит систематический характер и приводит к появлению погрешности измерения $\Delta_{си}$. Величина износа зависит от материала измерительных наконечников (закаленная сталь, твердый сплав, искусственный алмаз), измерительного усилия, скорости вращения или перемещения детали и времени их контакта. Как правило, погрешность от износа измерительных наконечников лежит в интервалах $\Delta_{си} = 0,2 \dots 4 \text{ мкм}$: $\Delta_{си} = 0,2 \dots 1 \text{ мкм}$ – алмазные наконечники, $\Delta_{си} = 1 \dots 2 \text{ мкм}$ – твердый сплав, $\Delta_{си} = 2 \dots 4 \text{ мкм}$ – закаленная сталь.

7.2.8. Силовая погрешность

Силовые погрешности средства измерения представляют собой переменную часть силовых деформаций, зависящую от колебания измерительного усилия, усилий силового замыкания звеньев передаточного механизма и усилий, возникающих от динамики процесса измерения.

Силовые погрешности делятся на:

- погрешности от изменения упругих деформаций в зоне контакта измерительного наконечника с контролируемой деталью;
- погрешности от изменения упругой деформации детали;
- погрешности от изменения деформации деталей самого средства контроля.

Контактные деформации Δ_F могут быть подсчитаны по формуле

$$\Delta_F = 0,36K \sqrt[3]{\frac{F^2}{r}} \text{ мкм}, \quad (7.14)$$

где K – коэффициент, выбираемый из табл. 7.3 в зависимости от материала контактирующих тел;

F – измерительное усилие, Н,

r – радиус измерительного наконечника, мм.

Контактные деформации следует подсчитывать только для измерений, производимых методом прямых измерений, а также при измерениях методом сравнения с мерой, если деталь и рабочий эталон выполнены из различного материала. В последнем случае определяется разность контактных деформаций меры и детали, которая является детерминированной систематической погрешностью.

Таблица 7.3 – Значение коэффициента K

Материал контактирующих тел		Коэффициент K
Деталь	Сферический наконечник	
Закалённая сталь	Алмаз, искусственный корунд, твёрдый сплав	1,0
	Закалённая сталь	1,3
Твёрдый сплав	Алмаз, искусственный корунд, твёрдый сплав	0,7
	Закалённая сталь	0,9

Погрешность от изменения контактной деформации вследствие колебания измерительного усилия является случайной погрешностью,

подчиняется нормальному закону распределения и подсчитывается по формуле:

$$\Delta_F = 0,12K \frac{\Delta F_{cm} + \Delta F_D}{\sqrt[3]{F \cdot r}}, \text{ мкм} \quad (7.15)$$

где величины K , F , r те же, что и выше;

$\Delta F_{cm} = (0,1 \dots 0,2)F$ – максимальное колебание измерительного усилия (в статическом режиме), Н;

$F = 4 \dots 8$ Н – измерительное усилие;

$r = 2 \dots 4$ мм – радиус измерительного наконечника;

ΔF_D – тоже в динамическом режиме, Н.

В общем случае

$$\Delta F_D = m \cdot \Delta w, \quad (7.16)$$

где m – приведённая масса подвижных частей ($m = \frac{G}{g}$, G – вес, Н,

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$);

Δw – максимальное колебание ускорения при возвратно-поступательном движении, м/с^2 .

Колебание ускорения вызывается эксцентриситетом вращения измеряемой детали и её отклонением от круглости. При весе подвижных частей до 30 Н и скорости вращения детали до 5 об/с, величиной ΔF_D можно пренебречь.

7.2.9. Суммарная погрешность измерения

С учетом рассмотренных составляющих погрешностей общее выражение для определения погрешности измерения прибора активного контроля имеет вид:

$$\Delta_{\Sigma} = \pm (\Delta_{scm} + \Delta_{sH}) \pm \sqrt{\Delta_{cp}^2 + \Delta_H^2 + \Delta_D^2 + \Delta_{nn}^2 \left(\Delta_{nn}^2 \right) + \Delta_{nn}^2 + \Delta_t^2 + \Delta_F^2} \leq [\Delta], \quad (7.17)$$

где $[\Delta] = (0,1 \dots 0,3)T_d$ – предел допускаемой погрешности измерения;

T_d – допуск на контролируемый диаметр.

Если условие $\Delta_{\Sigma} \leq [\Delta]$ не выполняется, следует выделить доминирующие по величинам составляющие погрешности измерения и выработать рекомендации по их уменьшению.

Например, выбрать по табл. 7.1 прибор более высокого класса точности; использовать другой тип измерительного преобразователя для уменьшения динамической погрешности; уменьшить износ измерительных наконечников за счет изменения материала наконечников; уменьшить

температурные погрешности за счет компенсации систематической составляющей на основе экспериментальной оценки средней температуры обработанных деталей, или использования самоподнастраивающейся системы с блоком контроля температуры деталей в процессе их обработки.

7.3. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические положения.
2. Составить таблицу исходных данных
3. Выполнить расчет составляющих погрешностей и суммарной погрешности измерения. Результаты расчета занести в табл. 7.4.

Таблица 7.4 – Составляющие суммарной погрешности измерения

№ п/п	Наименование составляющей погрешности	Обозначение	Значение, мкм
	<i>Систематические составляющие</i>		
1	Смещение уровня настройки	$\Delta_{см}$	
2	Температурная погрешность	Δ_{st}	
3	Погрешность от износа измерительных наконечников	Δ_{sII}	
	<i>Случайные составляющие</i>		
4	Погрешность срабатывания	$\overset{o}{\Delta}_{ср}$	
5	Погрешность настройки	$\overset{o}{\Delta}_н$	
6	Динамическая погрешность	$\overset{o}{\Delta}_Д$	
7	Погрешность от смещения измерительных наконечников	$\overset{o}{\Delta}_{nn} (\overset{o}{\Delta}_{ин})$	
8	Погрешность от перекоса плоскости наконечников	$\overset{o}{\Delta}_{nn}$	
9	Температурная погрешность	$\overset{o}{\Delta}_t$	
10	Силовая погрешность	$\overset{o}{\Delta}_F$	

4. Рассчитать величину допускаемой погрешности измерения $[\Delta]$, проверить выполнение условия $\Delta \leq [\Delta]$. В случае необходимости выработать рекомендации по снижению величины погрешности Δ_{Σ} .

7.4. Индивидуальные расчетные задания

Исходные данные для расчета погрешности измерения прибора активного контроля представлены в табл. 7.5 и выбираются по последней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 7.5 – Исходные данные

Наименование параметра	№ Варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Диаметр детали d , мм	20	40	15	25	60	80	20	40	60	25
Квалитет	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6
Тип преобразователя	П	И	П	И	П	И	П	И	П	И
Вид измерительного наконечника	Ц	С	Ц	С	Ц	С	Ц	С	Ц	С
<i>Примечание:</i> П – пневматический преобразователь; И – индуктивный преобразователь; Ц – цилиндрические; С – сферические.										

7.5. Содержание отчета

1. Наименование и цель занятия.
2. Основные теоретические положения.
3. Таблица исходных данных для расчета.
4. Расчет составляющих погрешностей измерения.
5. Таблица значений составляющих погрешностей измерения.
6. Расчет суммарной погрешности измерения Δ_{Σ} .
7. Выводы.

7.6. Контрольные вопросы

1. Назначение приборов активного контроля.
2. Дать классификацию основных и дополнительных погрешностей измерения.
3. Каким образом суммируются составляющие погрешности измерения?
4. Как рассчитать динамическую погрешность ПАК.
5. Каковы причины возникновения погрешности измерительных наконечников и температурной погрешности?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пашков Е.В. Электropневмоавтоматика в производственных процессах: учеб. пособие / Е.В. Пашков, Ю.А. Осинский, А.А. Четверкин: под ред. Е.В. Пашкова. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003. – 496 с.
2. Педь Е.И. Расчёт индуктивных преобразователей / Е.И. Педь. – М.: Мосстанкин, 1990. – 41 с.
3. Педь Е.И. Активный контроль в машиностроении / Е.И. Педь. – М.: Машиностроение, 1991. – 359 с.
4. Рашкович М.П. Индуктивные преобразователи для автоматизации металлорежущих станков / М.П. Рашкович. – М.: Машиностроение, 1990. – 359 с.
5. Безвесильная О.М. Преобразующие устройства приборов: учебник / О.М. Безвесильная, П.М. Таланчук. – К.: НМК ВО, 1993. – 280 с.
6. Высоцкий А.В. Пневматические измерения линейных размеров / А. В. Высоцкий, А.П. Курочкин, А.Б. Линд и др. – М.: Государственное научно-техническое издательство, 1987. – 206 с.
7. Волосов С.С. Приборы для автоматического контроля в машиностроении. / С.С. Волосов, Е.И. Педь. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 367 с.
8. Карпенко В.А. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учеб. пособие / В.А. Карпенко, Н.А. Волошина, С.П. Волков. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. – 372 с.
9. Палей М.А. Допуски и посадки: Справочник [в 2-х Ч.]. – 8-е изд., перераб. и доп. / М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – СПб.: Изд-во «Политехника», 2001. – Ч.1. – 576 с., Ч.2. – 608 с.
10. Соломахо В.Л. Справочник конструктора-приборостроителя. Детали и механизмы приборов / В.Л. Соломахо, Р.И. Томилин, Б.В. Цитович. – М.: Высш. шк., 1990. – 440 с. ил.
11. РМГ 29 – 2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. Введ. 01.01.2014. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 60 с.
12. ГОСТ 8.051 – 81. Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм. Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 10 с.

Учебное издание

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ,
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
И ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

*Учебно-методическое пособие
к выполнению практических занятий*

Составители: **Васютенко** Александр Павлович, **Филипович** Олег Викторович
Волошина Наталия Александровна, **Балакина** Наталья Анатольевна

В авторской редакции

Изд. № 136/18. Объем 4,25 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»