

## Практическое занятие 9. Основы технических измерений

**Цель:** получить навыки выбора средств измерений и контроля по его метрологическим характеристикам, исходя из требований точности размера. Освоить на практике приемы расчета калибров для контроля гладких цилиндрических, резьбовых и шлицевых соединений, а также калибров для контроля точности расположения.

**Задачи:** изучить метрологические характеристики средств измерения, особенности выбора средств измерения и контроля геометрических размеров в соответствии с ГОСТ 8.051 и РД 50-98-86. Получить навыки расчета предельных калибров для контроля гладких цилиндрических, резьбовых и шлицевых соединений, для контроля точности расположения.

### 9.1 Теоретические сведения

**Измерение** – процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине [48].

Измерение предусматривает сравнение величины с известной мерой, хранящейся в виде средства измерения, или счет. При этом процесс получения значения величины должен проходить в полном соответствии с методикой выполнения измерений.

**Контроль** – процедура оценивания соответствия, которая производится с помощью наблюдения и суждений, сопровождаемых определенными измерениями, испытаниями или калибровкой [49].

**Средство измерений** – техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные (установленные) метрологические характеристики [48].

Классификация средств измерения представлена в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды средств измерений

Признак классификации	Виды средств измерений
По назначению	Испытательные; Контрольные; Прогнозирующие; Диагностические;
По виду оценки параметров	Допусковые (пороговые);

	Измерительные; Комбинированные;
По выполняемым функциям	Мера; Измерительный преобразователь; Измерительный прибор; Измерительная установка; Измерительная система;
По виду преобразования сигнала	Прямого действия; Сравнения; Интегрирующие (суммирующие); Измерительные преобразователи (первичные, промежуточные, передающие, масштабные);
По виду выходного сигнала	Аналоговые; Цифровые; Аналого-цифровые
По виду регистрации сигнала	Показывающие; регистрирующие; самописцы; печатающие;
По характеру использования	Технические; Лабораторные;
По поверочной схеме	Рабочие; Образцовые; Рабочие эталоны;
По измеряемым величинам	Механические; Гидравлические; Пневматические; Акустические; Электрические; Электронные; Прочие и комбинированные.

Приведем лишь некоторые определения в соответствии с РМГ 29-2013 [48].

**Мера** – средство измерений, которое воспроизводит в процессе использования или постоянно хранит величины одного или более данных родов, с приспанными им значениями. Например, концевая мера длины, эталонный резистор, аттестованный стандартный образец.

**Измерительный преобразователь** – средство измерений или его часть, служащее для получения и преобразования информации об измеряемой величине в форму, удобную для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. Например, термопара, трубка Бурдона, тензодатчик.

***Измерительный прибор*** – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия.

***Измерительная установка*** – совокупность функционально объединенных и расположенных в одном месте мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенных для измерений одной или нескольких величин.

***Измерительная система*** – совокупность средств измерений и других средств измерительной техники, размещенных в разных точках объекта измерения, функционально объединенных с целью измерений одной или нескольких величин, свойственных этому объекту.

***Метрологические характеристики средств измерений.***

Метрологическая характеристика средства измерений - характеристика средства измерений, влияющая на результат измерений.

Для каждого типа средства измерений установлен свой набор метрологических характеристик. Рассмотрим основные метрологические характеристики для средств измерений линейных размеров.

Все определения приведены в соответствии с РМГ 29-2013 [48].

***Цена деления*** – разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерений.

***Длина шкалы*** – длина линии, проходящей через центры всех самых коротких отметок шкалы средства измерений и ограниченной начальной и конечной метками.

***Начальное значение шкалы*** – наименьшее значение величины, которое может быть отсчитано по шкале средства измерений

***Конечное значение шкалы*** – наибольшее значение величины, которое может быть отсчитано по шкале средства измерений.

***Диапазон показаний*** – область значений шкалы измерительного прибора, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы.

**Диапазон измерений** – множество значений величин одного рода, которые могут быть измерены данным средством измерений или измерительной системой с указанными инструментальной неопределенностью или указанными показателями точности при определенных условиях.

**Разрешающая способность измерительного прибора** – наименьшая разность между показаниями, которая может быть заметно различима.

**Погрешность средства измерений** – разность между показанием средства измерений и известным опорным (действительным) значением величины.

**Предел допускаемой погрешности средства измерений** – наибольшее значение погрешности средства измерений (без учета знака), устанавливаемое нормативным документом для данного типа средства измерений, при котором оно еще признается метрологически исправным.

**Основная погрешность средства измерений** – погрешность средства измерений, применяемого при нормальных условиях (Нормальные условия: температура окружающей среды 20 °С, атмосферное давление 101325 Па (760 мм рт. ст.), относительная влажность воздуха 58 %).

**Дополнительная погрешность средства измерений** – составляющая погрешности средства измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений

## **9.2 Выбор средств измерений**

На выбор средств измерений размеров влияет множество факторов: тип производства (массовое, серийное, единичное), геометрия и масса детали и др. При выборе средств измерений в машиностроении руководствуются определенными критериями: точность, трудоемкость, производительность, простота в обращении, надежность, стоимость. Выбор средства измерений по критерию точности является наиболее предпочтительным. Суть данного критерия заключается в том, что точность средства измерения должна быть выше точности контролируемого размера детали. Измерения средствами измерений невысокой точности могут привести к неправильному получению информации с соответствующими вы-

водами. Применение слишком точных СИ может быть экономически нецелесообразным.

Любое измерение приводит к возникновению погрешности, связанных с погрешностью самого средства измерений, погрешностью метода измерений, погрешностью базирования и т.п. Погрешности измерений оказывают существенное влияние на принятие решения о годности изделия, если действительные размеры находятся вблизи предельных значений, принимаемых в качестве приемочных границ (рисунок 9.1) [47].

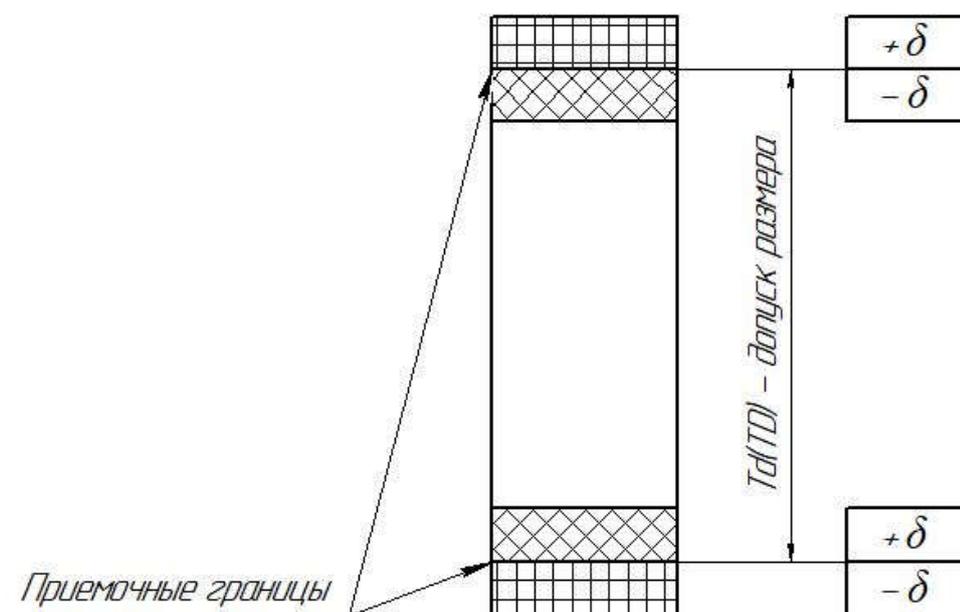


Рисунок 9.1

Основным вариантом установления приемочных границ является установление их совпадающими с предельными размерами контролируемого параметра, т.е. возможное влияние погрешности измерения учитывается конструктором при выборе качества и вида посадки. При таком варианте возможно забраковывание годных изделий или пропуск негодных изделий.

Допускаемая погрешность измерения  $\delta$  устанавливается в зависимости от номинального размера и допуска на изготовление и характеризует наибольшее значение погрешности. Ряды допускаемых погрешностей измерения  $\delta$  установлены ГОСТ 8.051-81 для качеств ИТ2 – ИТ17 и номинальных размеров до 500 мм. В соответствии с указанным стандартом допускаемая погрешность измерения составляет 20 – 35 % от допуска на размер, т.е.  $\delta = (0,2 \dots 0,35) \cdot T$ , где  $T$  – допуск раз-

мера [35]. Для размеров с неуказанными непосредственно на чертеже допусками, а указанными как общие допуски, установлены погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм в ГОСТ 8.549–86 [37]. В соответствии с этим стандартом допускаемая погрешность измерения составляет ~50 % допуска на размер ( $\delta = 0,5T$ ).

Зависимость коэффициента пропорциональности, связывающего допуск размера и допускаемую предельную погрешность измерения, от качества можно представить в виде таблицы [49].

Номер качества	2-5	6-7	8-9	10-16
Коэффициент пропорциональности	0,35	0,3	0,25	0,2

Допускаемые погрешности измерения ( $\delta$ ) по ГОСТ 8.051–81 в зависимости от размера и качества, а также предельные погрешности измерения ( $\Delta_{СИ}$ ) различными универсальными средствами измерения для наружных, внутренних линейных размеров и глубин приведены в РД 50-98–86 [47] и в таблицах приложений П19, П20. Допускаемые погрешности измерений ( $\delta$ ) линейных размеров с неуказанными допусками по ГОСТ 8.549–86 приведены в таблице П19.2.

Нижняя граница допускаемой погрешности измерения определяется экономической целесообразностью, при этом погрешность не должна быть меньше 0,1 допуска на размер. Это определяется еще и правилом, заключающимся в том, что предельные значения размеров для калибров и измерительных средств должны быть заданы так, чтобы эти размеры были определены примерно в 10 раз точнее, чем размеры, которые необходимо проверить (калибры) или измерить (средства измерения) [50].

Так как погрешность самого СИ входит составной частью в предельную погрешность измерения, то при выборе СИ по точности должно соблюдаться условие: предельная погрешность измерения конкретным СИ ( $\Delta_{СИ}$ ) должна быть меньше допускаемой погрешности измерения  $\delta$ , т. е.  $\Delta_{СИ} \leq \delta$ , но не меньше  $0,1T$ .

Таким образом, для выбора СИ по точности необходимо знать: номинальный измеряемый размер, допуск на изготовление этого размера ( $T$ ), установленные приемочные границы (верхние и нижние), допускаемую погрешность измерения ( $\delta$ ), предельную погрешность измерения различных средств измерений

( $\Delta_{СИ}$ ). Как было сказано выше, требования к точности размера могут быть заданы классом допуска или предельными отклонениями. В первом случае номер качества уже задан и не надо его определять. В случаях, когда требования по точности заданы предельными отклонениями, необходимо определить номер качества, используя формулу

$$k = \frac{T}{i}, \quad (8.1)$$

где  $k$  – коэффициент, характеризующий номер качества (таблица 8.2);  $T$  – значение допуска, мкм;  $i$  – единица допуска (таблица 8.3), мкм.

Алгоритм выбора средства измерений представлен на рисунке 9.2.

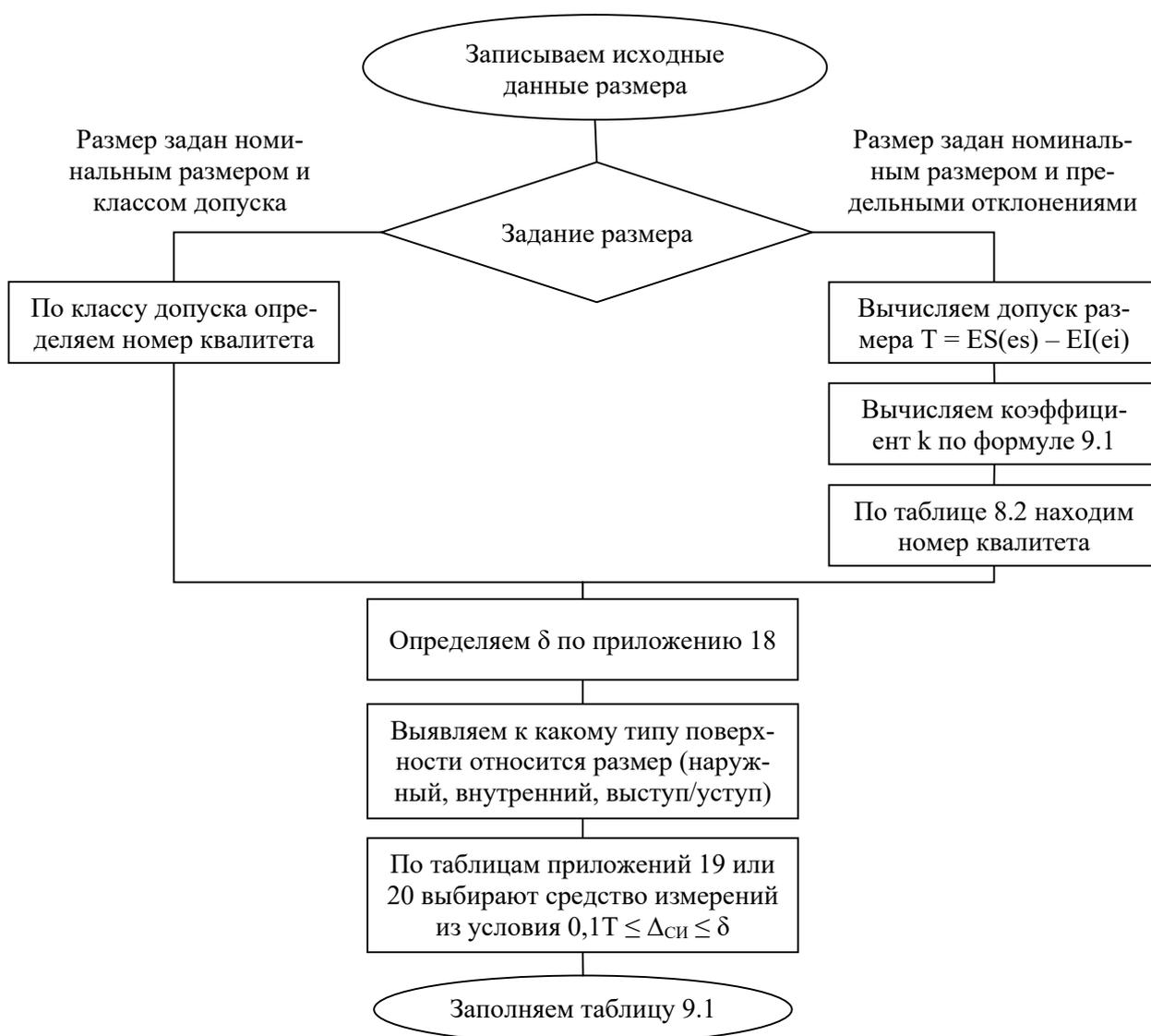


Рисунок 9.2 – Алгоритм выбора средства измерений

При выборе средства измерений все необходимые данные целесообразнее сводить в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Выбор средства измерений

Измеряемые размеры	d1	d	...
Характеристики объекта измерений			
Тип элемента детали			
Обозначение на чертеже требований по точности размеров			
Номинальный размер, мм			
Квалитет			
Предельные отклонения, мкм			
Значение допуска, мкм			
Допустимая погрешность измерения $\delta$ , мкм, по ГОСТ 8.051 или ГОСТ 8.549			
Расчетная допустимая погрешность измерения $\delta$ , мкм			
Метрологические характеристики средства измерений (приложение 21)			
Наименование средства измерений			
Диапазон измерения, мм			
Предел измерения, мм			
Цена деления, мм			
Основная погрешность, мм			
Предельная погрешность измерения средства измерений $\Delta_{СИ}$ , мкм			

### 9.3 Расчет калибров

**Калибр** – средство контроля, воспроизводящее геометрические параметры элементов изделия, определяемые заданными предельными линейными или угловыми размерами, и контактирующее с элементом изделия по поверхностям, линиям или точкам [26].

**Предельный калибр** – калибр, воспроизводящий проходной и (или) непроходной пределы геометрических параметров элементов изделия [26].

**Нормальный калибр** – калибр, воспроизводящий заданный линейный или угловой размер и форму сопрягаемой с ним поверхности контролируемого элемента изделия [26].

В общем случае классификация калибров может быть проведена по ряду признаков [26]:

- по форме рабочих поверхностей: гладкий, конусный, резьбовой, цилиндрический резьбовой, конусный резьбовой, шпоночный, шлицевой, профильный;
- по назначению: проходной, непроходной, поэлементный, комплексный, рабочий, приемный, контрольный, установочный, сортировочный, калибр глубины (высоты) уступа, калибр расположения;
- по конструктивным признакам: калибр-пробка, калибр-скоба, калибр-кольцо, калибр-втулка, нерегулируемый калибр, регулируемый калибр, полный, неполный, однопредельный, двухпредельный, односторонний двухпредельный, двусторонний двухпредельный.

### *9.3.1 Расчет гладких цилиндрических калибров.*

Для контроля валов изделий применяют: проходные и непроходные калибры-скобы, проходной калибр-кольцо. Для контроля отверстий применяют: калибры-пробки полные проходные и непроходные, неполные проходные и непроходные, калибры-нутромеры сферические проходные и непроходные.

Условное обозначение калибров [18]:

ПР – проходной калибр;

НЕ – непроходной калибр;

К-ПР – контрольный проходной калибр;

К-НЕ – контрольный непроходной калибр;

К-И – контрольный калибр для контроля износа гладкого проходного калибра-скобы.

Виды гладких калибров для контроля гладких цилиндрических отверстий и валов размером до 500 мм приведены в ГОСТ 24851-81 «Калибры гладкие для цилиндрических отверстий и валов. Виды» [18].

Расположение интервалов допусков гладких калибров по отношению к контролируемым размерам зависит от номинального размера и качества, проверяемого параметра. Схемы расположения интервалов допусков приведены на рисунках 9.3-9.10 [18].

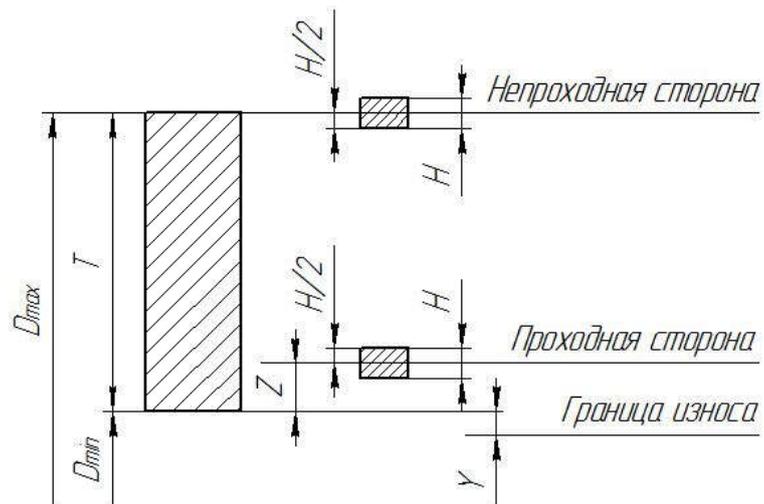


Рисунок 9.3 – Расположение интервалов допусков для контроля отверстий квалитетов 6, 7, 8 и номинальным размером до 180 мм

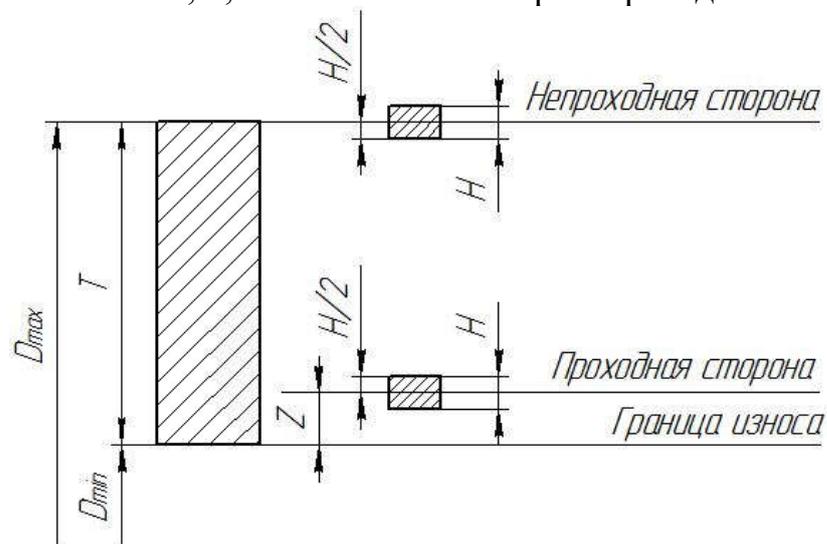


Рисунок 9.4 – Расположение интервалов допусков для контроля отверстий квалитетов от 9 до 17 и номинальным размером до 180 мм

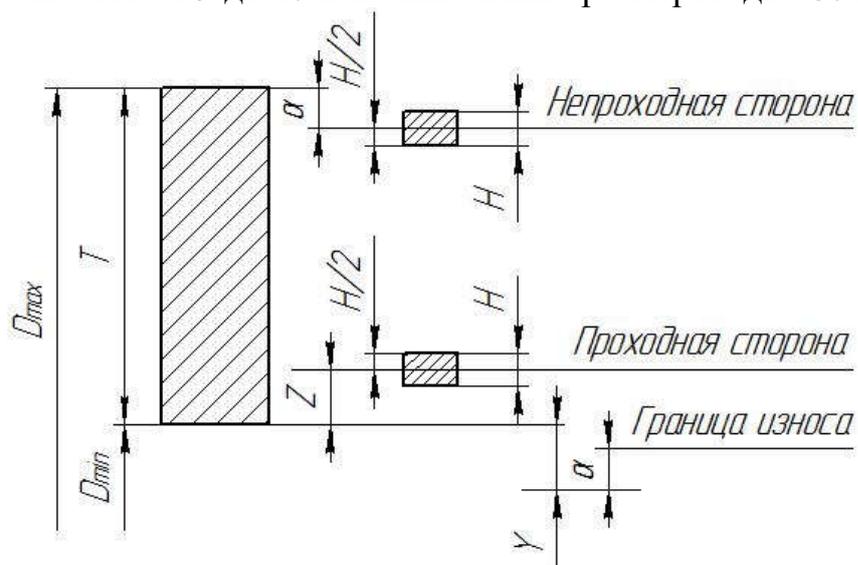


Рисунок 9.5 – Расположение интервалов допусков для контроля отверстий квалитетов 6, 7, 8 и номинальным размером свыше 180 мм

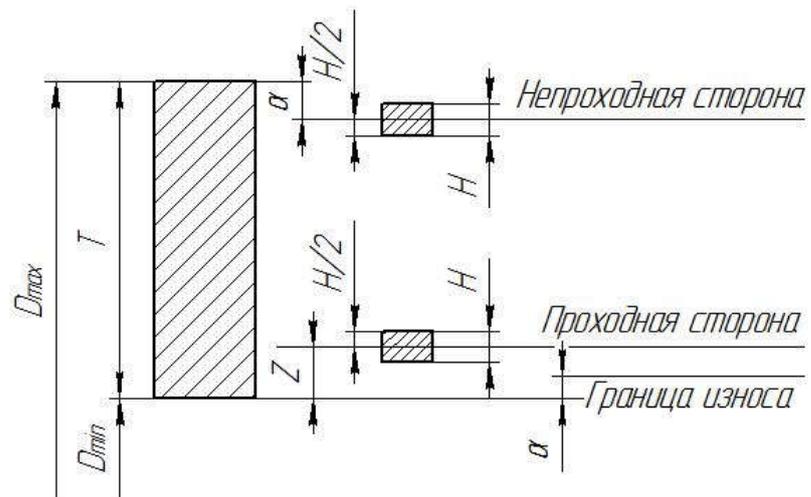


Рисунок 9.6 – Расположение интервалов допусков для контроля отверстий  
квалитетов от 9 до 17 и номинальным размером свыше 180 мм

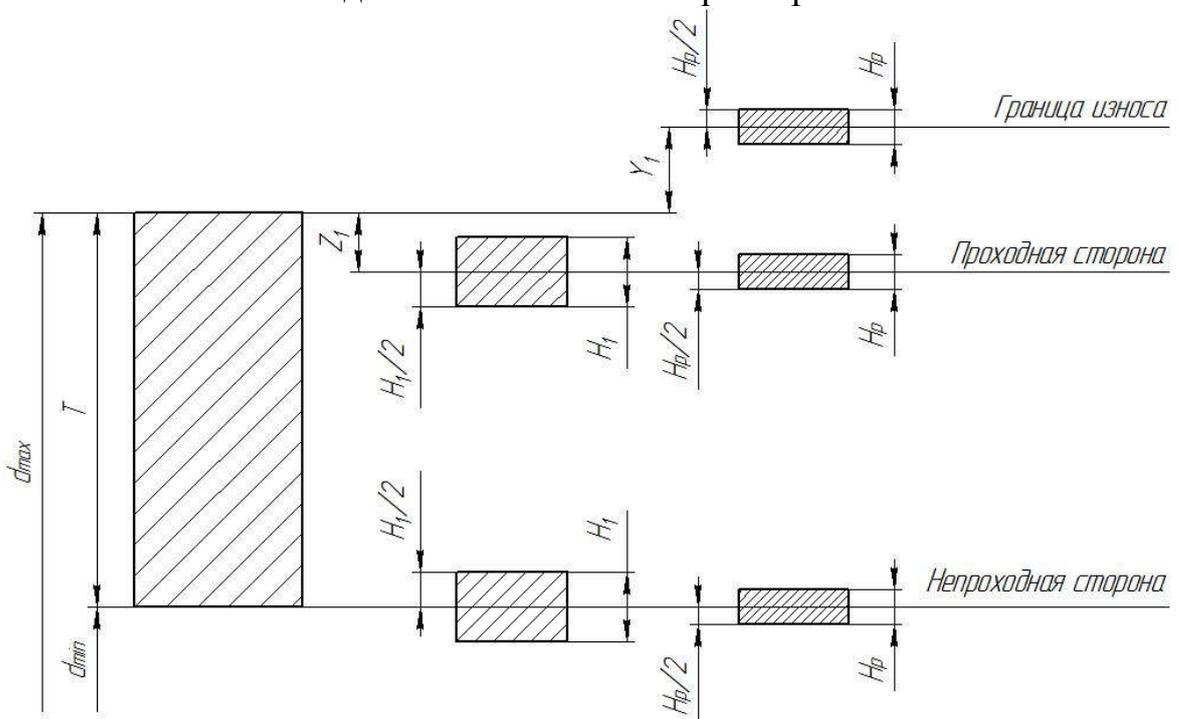


Рисунок 9.7 – Расположение интервалов допусков для контроля валов квалитетов  
6, 7, 8 и номинальным размером до 180 мм

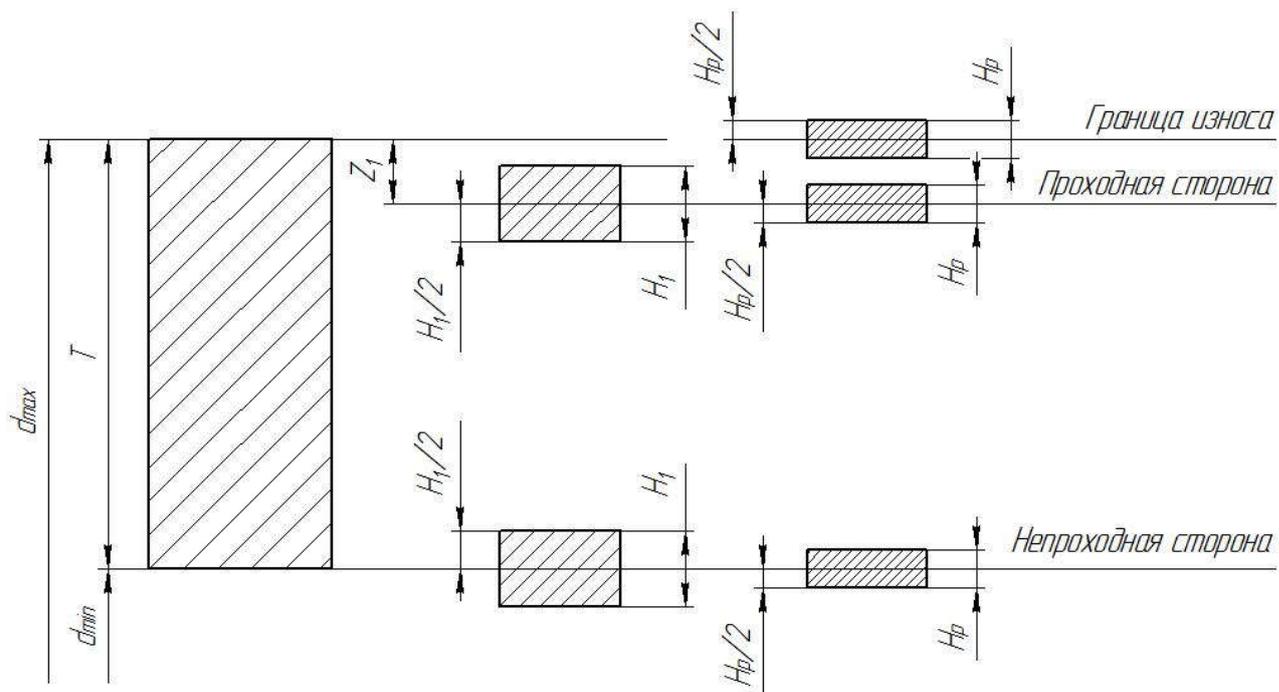


Рисунок 9.8 – Расположение интервалов допусков для контроля валов квалитетов от 9 до 17 и номинальным размером до 180 мм

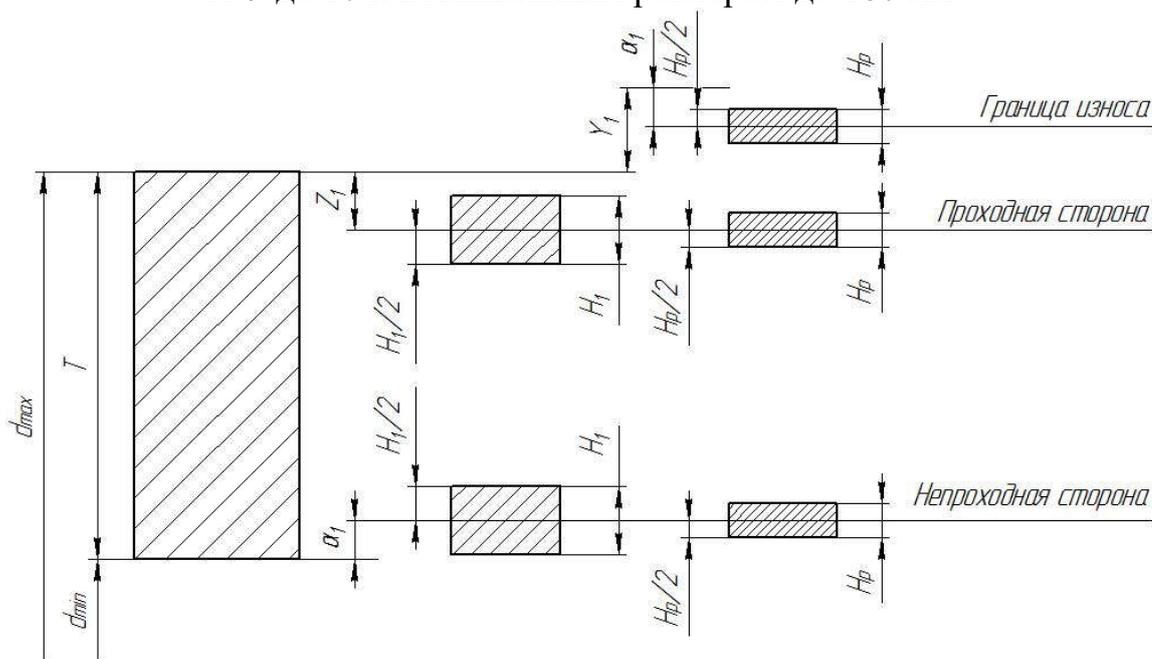


Рисунок 9.9 – Расположение интервалов допусков для контроля валов квалитетов 6, 7, 8 и номинальным размером свыше 180 мм

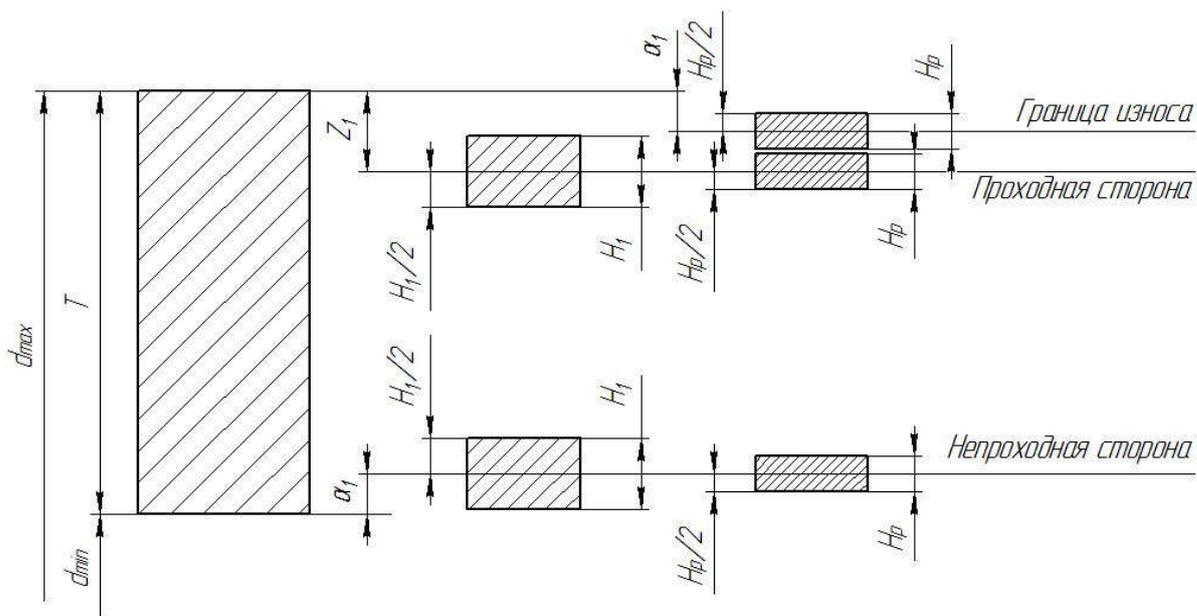


Рисунок 9.10 – Расположение интервалов допусков для контроля валов квалитетов от 9 до 17 и номинальным размером свыше 180 мм

При расчете гладких цилиндрических калибров используют положения стандарта ГОСТ 24853-81 [19].

**Исполнительные размеры калибров** – предельные размеры, по которым изготавливаются новые калибры, а также осуществляется контроль износа калибров в эксплуатации.

В качестве номинальных размеров исполнительных калибров используют наибольший предельный размер отверстия для калибра-пробки и наименьший предельный размер вала для калибра-скобы.

Основные формулы для расчета калибра-пробки приведены в таблице 9.2, калибра-скобы – таблица 9.3, контрольного калибра – таблица 9.4.

Таблица 9.2 – Формулы для расчета калибра-пробки

Калибр-пробка	Номинальный размер изделия, мм			
	до 180		св. 180 до 500	
	Размер	Допуск	Размер	Допуск
Проходная сторона	$D_{\min} + Z$	$\pm \frac{H}{2}$	$D_{\min} + Z$	$\pm \frac{H}{2}$
Непроходная сторона	$D_{\max}$	$\pm \frac{H}{2}$	$D_{\max} - \alpha$	$\pm \frac{H}{2}$
Проходная изношенная	$D_{\min} - Y$	–	$D_{\min} - Y + \alpha$	–

Таблица 9.3 – Формулы для расчета рабочего калибра-скобы

Калибр-скоба	Номинальный размер изделия, мм			
	до 180		св. 180 до 500	
	Размер	Допуск	Размер	Допуск
Проходная сторона	$d_{\max} - Z_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$	$d_{\max} - Z_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$
Непроходная сторона	$d_{\min}$	$\pm \frac{H_1}{2}$	$d_{\min} + \alpha_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$
Проходная изношенная	$d_{\max} + Y_1$	–	$d_{\max} + Y_1 - \alpha_1$	–

Таблица 9.4 – Формулы для расчета контрольного калибра

Контрольный калибр	Номинальный размер изделия, мм			
	до 180		св. 180 до 500	
	Размер	Допуск	Размер	Допуск
Проходная сторона	$d_{\max} - Z_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$	$d_{\max} - Z_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$
Непроходная сторона	$d_{\min}$	$\pm \frac{H_p}{2}$	$d_{\min} + \alpha_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$
Проходная изношенная	$d_{\max} + Y_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$	$d_{\max} + Y_1 - \alpha_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$

**Примечание.** В таблицах 9.2-9.4 использованы обозначения:

$D_{\min} (d_{\min})$  – наименьший предельный размер отверстия (вала);

$D_{\max} (d_{\max})$  – наибольший предельный размер отверстия (вала);

$H$  – допуск на изготовление калибров для отверстия;

$H_1$  – допуск на изготовление калибров для вала;

$H_p$  – допуск на изготовление контрольного калибра для скобы;

$Z$  – отклонение середины интервала допуска на изготовление проходного калибра для отверстия относительно наименьшего предельного размера изделия;

$Z_1$  – отклонение середины интервала допуска на изготовление проходного калибра для вала относительно наибольшего предельного размера изделия;

$Y$  – допустимый выход размера изношенного проходного калибра для отверстия за границу интервала допуска изделия;

$Y_1$  – допустимый выход размера изношенного проходного калибра для вала за границу интервала допуска изделия;

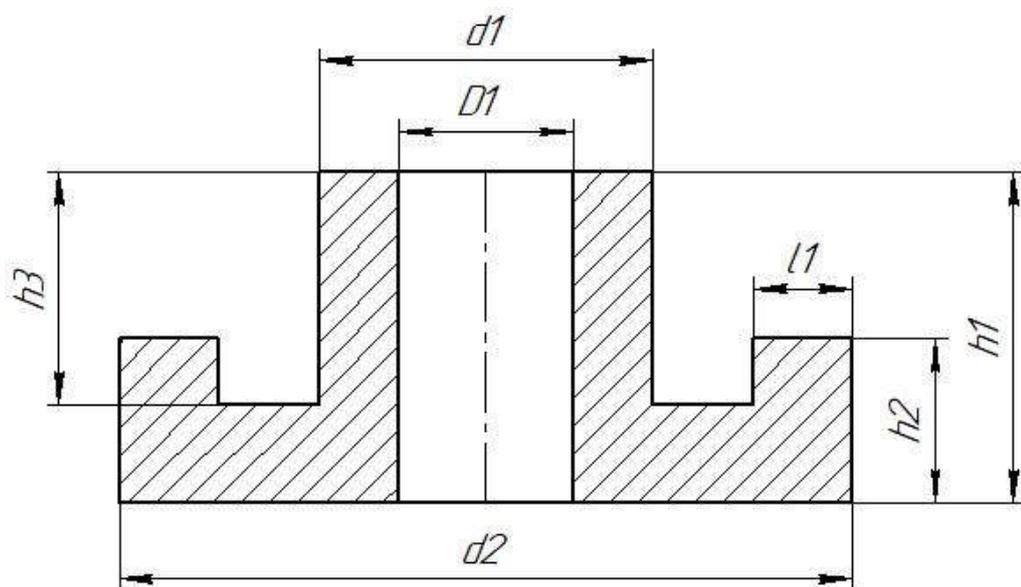
$\alpha$  – величина для компенсации погрешности контроля калибрами отверстий с размерами свыше 180 мм;

$\alpha_1$  – величина для компенсации погрешности контроля калибрами валов с размерами свыше 180 мм.

Числовые значения допусков и отклонений калибров определяют в приложении 22 или ГОСТ 24853-81 [19].

### Задания для самостоятельного выполнения

1. В соответствии с алгоритмом выбора средств измерений подобрать средства измерений для измерения наружных, внутренних линейных размеров, размеров уступов/выступов. Исходные данные представлены на рисунке 9.3 и таблице 9.2.



*Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14; h14;  $\pm IT14/2$*

Рисунок 9.3 – Чертеж детали

Таблица 9.2 – Исходные данные к заданию 1

Предпоследняя цифра номера варианта	$d_1$	$D_1$	$h_1$	Последняя цифра номера варианта	$d_2$	$l_1$	$h_2$	$h_3$
1	50h8	25H9	60	1	150h12	10	40	50
2	55h9	30Js8	65	2	160h13	12	45	48
3	74h7	50H8	75	3	170h11	14	30	46
4	62h9	30H10	68	4	165h10	16	35	50
5	50h6	40H8	80	5	155h12	18	28	45

6	70h8	50H9	100	6	180h12	20	30	52
7	65js8	45H9	90	7	175h10	22	36	40
8	58d8	38H9	85	8	185h11	24	40	44
9	66h7	35H8	70	9	190h10	26	45	48
0	75g8	45H10	110	0	175h12	30	50	49

2. Рассчитать исполнительные размеры проходных и непроходных калибров-пробок и калибров-скоб для контроля гладкого цилиндрического соединения. Построить интервалы допусков гладких калибров. Выполнить эскизы калибра-пробки и калибра-скобы с простановкой исполнительных размеров и маркировки. Исходные данные к заданию приведены в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Исходные данные к заданию 2

Предпоследняя цифра номера варианта	Номинальный размер соединения, мм	Последняя цифра номера варианта	Посадка
1	35	1	H9/d8
2	120	2	A12/h7
3	80	3	Js10/h8
4	200	4	H7/r6
5	220	5	G8/h7
6	40	6	H12/a11
7	55	7	D9/h8
8	75	8	H7/g6
9	240	9	P9/h8
0	60	0	H9/js8

### Пример выполнения задания

**Пример 1.** Выбрать средство для контроля вала  $\varnothing 55d8$ .

Для диаметра 55 мм и качества 8 допуск  $T = 46$  мкм (приложение 1). По заданному номинальному размеру 55 мм и качеству 8 по таблице П18.1 приложения находим допускаемую погрешность измерения  $\delta = 12$  мкм. При расчетном подходе допускаемая погрешность измерения равна  $\delta = 0,25 \cdot 46 = 11,5$  мкм, что незначительно отличается от табличного значения. Измеряемый размер относится к валам, поэтому при выборе средств измерений необходимо руководствоваться таблицами приложения 19 или таблицами руководящего документа РД 50-98-86 [47].

Предельные погрешности измерения ( $\Delta_{СИ}$ ) конкретными средствами измерений составляют для:

- штангенциркуля с отсчетом по нониусу 0,05 мм – 100 мкм;
- микрометра гладкого (МК) с величиной отсчета 0,01 мм при варианте использования в руках – 10 мкм;
- скобы индикаторной (СИ) с ценой деления 0,01 мм при варианте использования в руках – 15 мкм;
- микрометра рычажного (МР и МРИ) с ценой деления 0,002 мм и 0,01 мм при варианте использования в руках – 9 мкм.

Сравнивая погрешности измерения ( $\Delta_{СИ}$ ) выбранных средств измерения штангенциркуля, микрометра МК, скобы индикаторной и микрометра рычажного с допускаемой погрешностью измерения  $\delta = 12$  мкм, можно рекомендовать *микрометр рычажный* типа МР или МРИ или *микрометр гладкий* с предельной погрешностью 9 и 10 мкм соответственно.

Заполним таблицу по шаблону таблицы 9.1.

Измеряемые размеры	d1
Характеристики объекта измерений	
Тип элемента детали	вал
Обозначение на чертеже требований по точности размеров	$\varnothing 55d8$
Номинальный размер, мм	55
Квалитет	8
Предельные отклонения, мкм	-
Значение допуска, мкм	46
Допустимая погрешность измерения $\delta$ , мкм, по ГОСТ 8.051 или ГОСТ 8.549	12
Расчетная допустимая погрешность измерения $\delta$ , мкм	11,5
Метрологические характеристики средства измерений	
Наименование средства измерений	Микрометр рычажный
Диапазон измерения, мм	50-75
Предел измерения, мм	50-75
Цена деления, мм	0,002
Основная погрешность, мм	$\pm 0,003$
Предельная погрешность измерения средства измерений $\Delta_{СИ}$ , мкм	9

**Пример 2.** Рассчитать исполнительные размеры проходных и непроходных калибров-пробок и калибров-скоб для контроля гладкого цилиндрического соединения  $\varnothing 30\text{ H9/d8}$ . Построить интервалы допусков гладких калибров. Выполнить эскизы калибра-пробки и калибра-скобы с простановкой исполнительных размеров и маркировки.

*Решение.*

По приложениям 2 и 3 определим предельные отклонения размера вала и отверстия.

$$ES = +52 \text{ мкм}, EI = 0, es = -65 \text{ мкм}, ei = -96 \text{ мкм}.$$

Вычислим предельные размеры отверстия и вала.

$$D_{max} = 30 + 0,052 = 30,052 \text{ мм},$$

$$D_{min} = 30 + 0 = 30 \text{ мм},$$

$$d_{max} = 30 + (-0,065) = 29,935 \text{ мм},$$

$$d_{min} = 30 + (-0,096) = 29,904 \text{ мм}.$$

По приложению 22 определим допуски и отклонения для изготовления калибра-пробки:

$$Z = 9 \text{ мкм}, H = 4 \text{ мкм}, Y = 0.$$

Расчет калибра-пробки представим в виде таблицы.

Калибр-пробка	Наименьший предельный размер, мм	Наибольший предельный размер, мм
Проходная сторона	$D_{min} + Z - \frac{H}{2}$ $30 + 0,009 - 0,002 = 30,007$	$D_{min} + Z + \frac{H}{2}$ $30 + 0,009 + 0,002 = 30,011$
Непроходная сторона	$D_{max} - \frac{H}{2}$ $30,052 - 0,002 = 30,050$	$D_{max} + \frac{H}{2}$ $30,052 + 0,002 = 30,054$
Проходная изношенная	$D_{min} - Y$ $30 - 0 = 30$	—

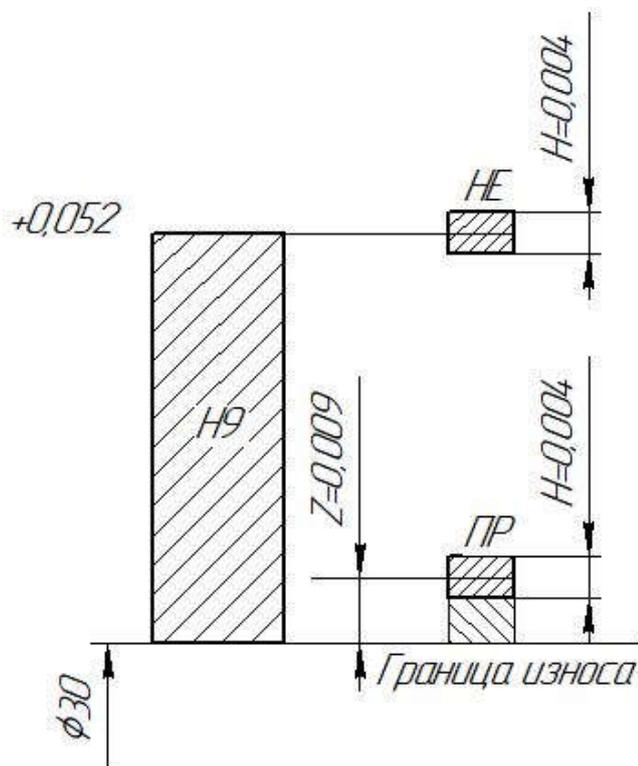
По приложению 22 определим допуски и отклонения для изготовления калибра-скобы:

$$Z_1 = 5 \text{ мкм}, H_1 = 4 \text{ мкм}, Y_1 = 4 \text{ мкм}, H_P = 2,5 \text{ мкм}.$$

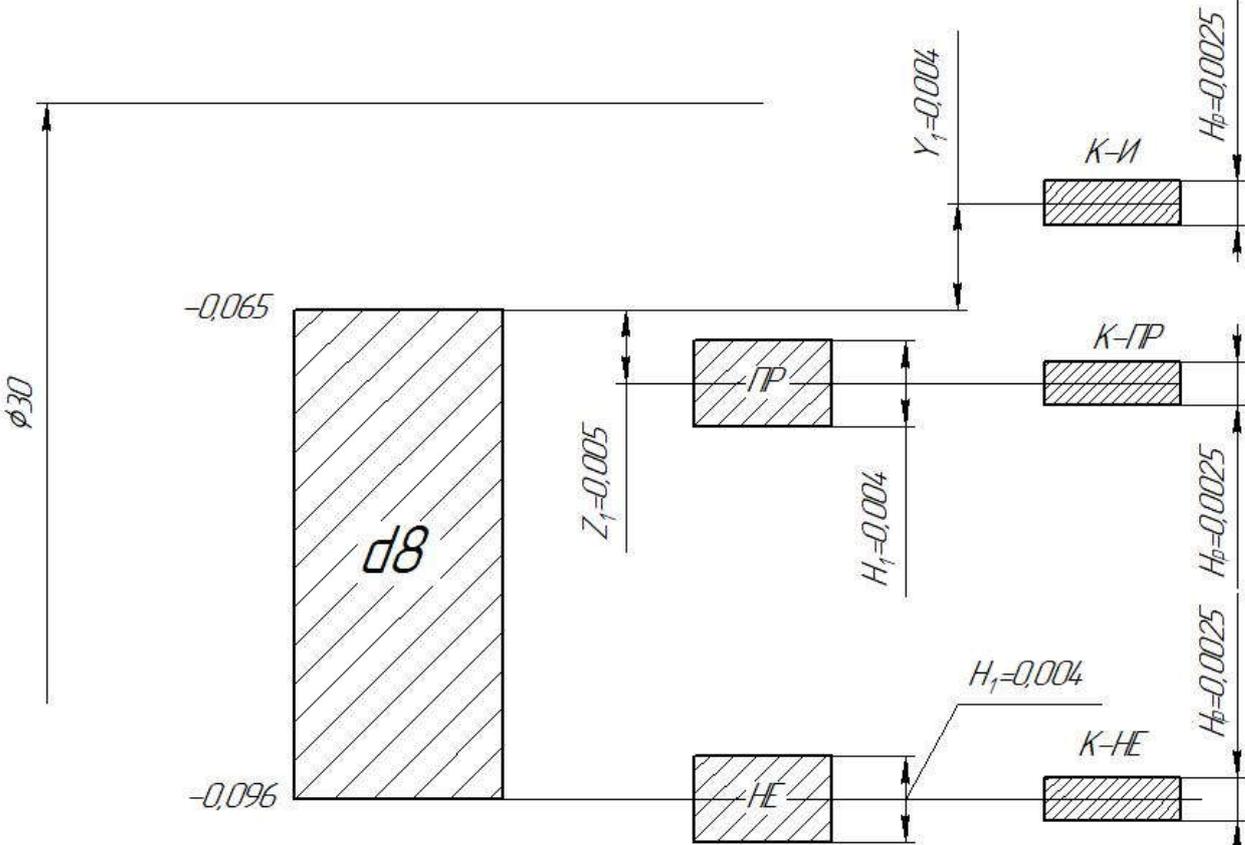
Расчет калибра-скобы представим в виде таблицы.

		Наименьший предельный размер, мм	Наибольший предельный размер, мм
Калибр-скоба	Проходная сторона	$d_{\max} - Z_1 - \frac{H_1}{2}$ 29,935 - 0,005 - 0,002 = 29,928	$d_{\max} - Z_1 + \frac{H_1}{2}$ 29,935 - 0,005 + 0,002 = 29,932
	Непроходная сторона	$d_{\min} - \frac{H_1}{2}$ 29,904 - 0,002 = 29,902	$d_{\min} + \frac{H_1}{2}$ 29,904 + 0,002 = 29,906
	Проходная изношенная	$d_{\max} + Y_1$ 29,935 + 0,004 = 29,939	—
Контрольный калибр	Проходная сторона	$d_{\max} - Z_1 - \frac{H_P}{2}$ 29,935 - 0,005 - $\frac{0,0025}{2}$ = 29,9285 *	$d_{\max} - Z_1 + \frac{H_P}{2}$ 29,935 - 0,005 + $\frac{0,0025}{2}$ = 29,931 *
	Непроходная сторона	$d_{\min} - \frac{H_P}{2}$ 29,904 - $\frac{0,0025}{2}$ = 29,9025 *	$d_{\min} + \frac{H_P}{2}$ 29,904 + $\frac{0,0025}{2}$ = 29,905 *
	Проходная изношенная	$d_{\max} + Y_1 - \frac{H_P}{2}$ 29,935 + 0,004 - $\frac{0,0025}{2}$ = 29,9375 *	$d_{\max} + Y_1 + \frac{H_P}{2}$ 29,935 + 0,004 + $\frac{0,0025}{2}$ = 29,940 *

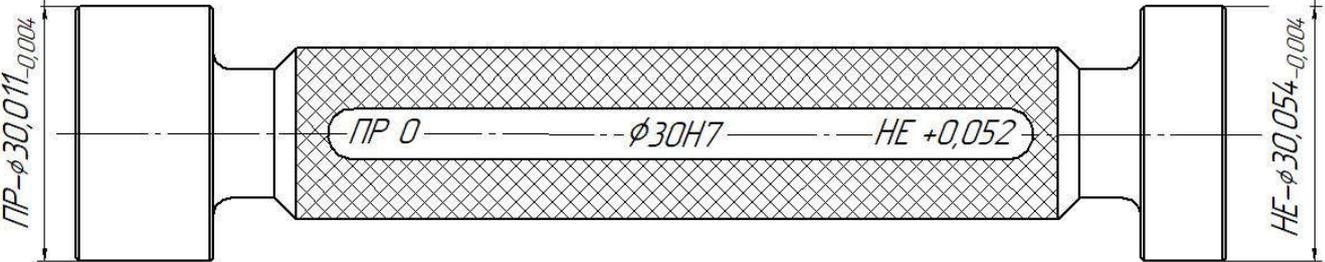
Построим схему расположения интервалов допусков для калибра-пробки.



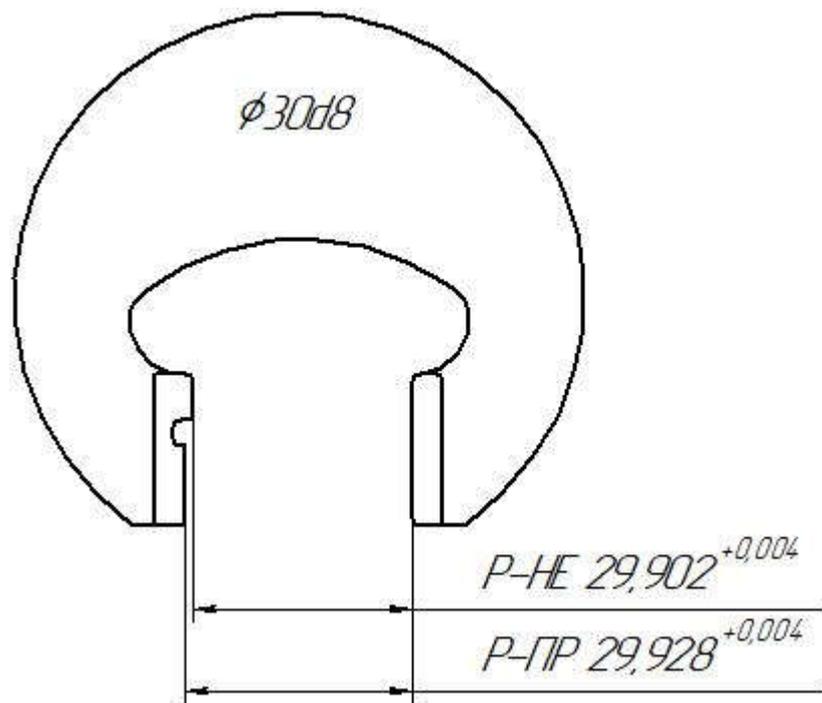
Построим схему расположения интервалов допусков для калибра-скобы и контрольного калибра.



Построим эскизы калибра-пробки и калибра-скобы.



Эскиз калибра-пробки



Эскиз калибра-скобы

### Контрольные вопросы для самоподготовки и защиты практической работы

1. Дайте понятие измерение и контроль. В чем отличие этих понятий?
2. Средство измерений.
3. Классификация средств измерений.
4. Что такое мера? измерительный преобразователь?
5. Приведите определения измерительный прибор, измерительная установка, измерительная система.
6. Метрологические характеристики средств измерений линейных размеров?
7. Основная погрешность средства измерений.
8. Дополнительная погрешность средства измерений.
9. Нормальные условия измерений.
10. Варианты установления приемочных границ в соответствии с ГОСТ 8.051. Какой вариант предпочтителен?
11. Какими критериями руководствуются при выборе средств измерений в машиностроении?
12. Какому условию должна соответствовать предельная погрешность средства измерений?

13. Что такое калибр? предельный калибр? нормальный калибр?
14. Классификация калибров.
15. Условное обозначение гладких цилиндрических калибров.
16. Назовите особенности расчета калибров для размеров свыше 180 мм.
17. Назначение контрольных калибров
18. Какой стороной калибра-пробки контролируется наибольший размер отверстия? наименьший размер отверстия?
19. Какой стороной калибра-скобы контролируется наибольший размер вала? наименьший размер вала?