



---

Справочник  
контролера  
машиностроительного  
завода



62175  
C44

Серия  
справочников  
для рабочих

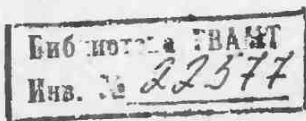


# Справочник контролера машиностроительного завода

Допуски, посадки,  
линейные измерения

Под редакцией  
д-ра техн. наук засл. деят.  
науки и техники РСФСР  
проф. А.И. Якушева

Издание третье, переработанное  
и дополненное



Москва «Машиностроение»

1980

ББК 34.41

С74

УДК 621.7.08 (031)

Авторы: канд. техн. наук А. Н. Виноградов, канд. техн. наук Ю. А. Воробьев, канд. техн. наук Л. Н. Воронцов, канд. техн. наук [Н. Н. Забрева], канд. техн. наук В. И. Колчков, инж. Л. А. Лобанова, канд. техн. наук А. В. Мироненко, канд. техн. наук В. А. Нефедов, канд. техн. наук И. А. Недорезов, канд. техн. наук Ю. Н. Орлов, канд. техн. наук В. Н. Плуталов, канд. техн. наук Н. Т. Полирус, инж. Н. Н. Стопачинская, инж. В. М. Ульянов, канд. техн. наук А. Д. Федоров, канд. техн. наук Ю. А. Шачнев, д-р техн. наук А. И. Якушев

Рецензенты: инж. Н. М. ЖУРАВЛЕВ,  
канд. техн. наук В. Г. ПЕРФИЛОВ

Справочник контролера машиностроительного завода. Допуски, посадки, линейные измерения/ А. Н. Виноградов, Ю. А. Воробьев, Л. Н. Воронцов и др. Под ред. А. И. Якушева. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1980. — 527 с., ил. — (Серия справочников для рабочих). В пер.: 2 р. 10 к.

В справочнике приведены сведения по обеспечению взаимозаменяемости, системам допусков и посадок типовых соединений, техническим измерениям, калибром, универсальным, специализированным и автоматическим средствам измерения и контроля размеров, изложены методы анализа размерной точности машин, выбора типа контрольно-измерительного средства и оценки годности деталей по результатам измерения.

Третье издание (2-е изд. 1970 г.) значительно переработано с учетом стандартов СЭВ.

Справочник предназначен для квалифицированных рабочих-контролеров.

С 30103-140 140-80. 2203000000  
638(01)-80

ББК 34.41  
6П5.1

© Издательство «Машиностроение», 1980 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ



Введение (А. И. Якушев) . . . . . 8

## РАЗДЕЛ I

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ

<i>Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ И СИСТЕМАХ ДОПУСКОВ И ПОСАДОК</i> (А. И. Якушев, Н. Н. Стопачинская) . . . . .	11
1. Взаимозаменяемость и ее виды . . . . .	11
2. Функциональная взаимозаменяемость . . . . .	12
3. Номинальный, действительный и предельные размеры, предельные отклонения, допуски и посадки . . . . .	14
4. Нормированная и действительная точность . . . . .	20
5. Принципы построения систем допусков и посадок для типовых соединений деталей машин и других изделий . . . . .	21
<i>Глава 2. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ПО ФОРМЕ И РАСПОЛОЖЕНИЮ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ</i> (А. И. Якушев, Л. А. Лобанова) . . . . .	26
1. Система нормирования отклонений формы поверхностей деталей . . . . .	26
2. Отклонения формы цилиндрических поверхностей . . . . .	27
3. Отклонения формы плоских поверхностей . . . . .	29
4. Отклонения расположения поверхностей . . . . .	29
5. Суммарные отклонения формы и расположения поверхностей . . . . .	32
6. Зависимый и независимый допуски расположения . . . . .	33
7. Обозначение на чертежах допусков формы и расположения поверхностей деталей . . . . .	34
8. Числовые значения допусков формы и расположения поверхностей . . . . .	38
<i>Глава 3. ШЕРОХОВАТОСТЬ И ВОЛНИСТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ</i> (А. И. Якушев, В. М. Ульянов) . . . . .	42
1. Шероховатость поверхности . . . . .	42
2. Волнистость поверхности . . . . .	55

<b>Глава 4. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ (А. И. Якушев, Н. Н. Стопачинская)</b> . . . . .	56
1. Системы допусков и посадок для гладких цилиндрических соединений . . . . .	56
2. Обозначение предельных отклонений и посадок на чертежах . . . . .	63
3. Сопоставление полей допусков и посадок в системах ГОСТ и ЕСПД СЭВ для размеров от 1 до 500 мм . . . . .	65
4. Принципы выбора допусков и посадок . . . . .	88
5. Методика расчета и выбора посадок . . . . .	91
<b>Глава 5. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ГЛАДКИХ И РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТМАСС (Ю. А. Воробьев, В. Н. Паутилов)</b> . . . . .	98
1. Допуски и посадки гладких изделий . . . . .	98
2. Точность изготовления деталей из пластмасс . . . . .	100
3. Допуски и посадки резьбовых изделий . . . . .	102
<b>Глава 6. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ПОДШПИННИКОВ КАЧЕНИЯ (Н. Н. Зябрева, Л. А. Лобанова)</b> . . . . .	106
<b>Глава 7. ТОЧНОСТЬ УГЛОВЫХ РАЗМЕРОВ И ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ (Ю. А. Шацков)</b> . . . . .	113
1. Допуски на угловые размеры . . . . .	113
2. Допуски и посадки для конических соединений . . . . .	116
3. Допуски инструментальных конусов . . . . .	118
<b>Глава 8. РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ (В. А. Нефедов, А. Н. Вишневский)</b> . . . . .	121
1. Классификация размерных цепей . . . . .	121
2. Метод расчета размерных цепей, обеспечивающий полную взаимозаменяемость . . . . .	123
3. Теоретико-вероятностный метод расчета . . . . .	130
4. Метод регулирования . . . . .	137
5. Метод пригонки . . . . .	140
6. Метод групповой взаимозаменяемости . . . . .	141
7. Расчет зависимых допусков на расстояния между осями отверстий . . . . .	143
8. Краткие сведения о расчете плоских и пространственных размерных цепей . . . . .	145
<b>Глава 9. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ (А. И. Якушев, Н. Т. Ползрус)</b> . . . . .	148
1. Классификация и основные параметры цилиндрических резьбовых соединений . . . . .	148
2. Общие принципы обеспечения взаимозаменяемости цилиндрических резьб . . . . .	150
3. Допуски и посадки метрических резьб . . . . .	156
4. Взаимозаменяемость кинематических резьб . . . . .	166

<b>Глава 10. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ (А. И. Якушев, В. И. Колчков)</b> . . . . .	169
1. Эксплуатационные требования к зубчатым передаткам . . . . .	169
2. Системы допусков зубчатых передач . . . . .	170
3. Кинематическая точность . . . . .	170
4. Плавность работы . . . . .	183
5. Контакт зубьев . . . . .	194
6. Боковой зазор . . . . .	200
7. Условное обозначение точности зубчатых передач . . . . .	214
8. Выбор степени точности передач . . . . .	215
<b>Глава 11. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ (А. И. Якушев, Н. Н. Стопачинская)</b> . . . . .	217
1. Взаимозаменяемость шпоночных соединений . . . . .	217
2. Классификация шлицевых соединений . . . . .	218
3. Допуски и посадки шлицевых соединений с прямобоковым профилем зубьев . . . . .	219
4. Допуски и посадки шлицевых соединений с эвольвентным профилем зубьев . . . . .	224

## РАЗДЕЛ 2

## КОНТРОЛЬ В МАШИНОСТРОЕНИИ

<b>Глава 12. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ФОРМЫ КОНТРОЛЯ (А. В. Мироненко)</b> . . . . .	233
1. Метрологическая служба предприятия . . . . .	233
2. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений . . . . .	236
3. Метрологические характеристики средств измерения . . . . .	238
4. Составление поверочных схем . . . . .	240
5. Выбор контрольно-измерительных средств . . . . .	243
6. Обеспечение точности измерения . . . . .	249
<b>Глава 13. МЕРЫ ДЛИНЫ КОНЦЕВЫЕ, ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ, УГЛОВЫЕ МЕРЫ (Н. Н. Зябрева, Л. А. Лобанова)</b> . . . . .	252
1. Виды и назначение мер . . . . .	252
2. Концевые меры длины и их поверка . . . . .	252
3. Угловые меры . . . . .	257
4. Штриховые меры длины и их поверка . . . . .	258
<b>Глава 14. КАЛИБРЫ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГЛАДКИХ И РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ (Ю. А. Воробьев)</b> . . . . .	261
1. Общие сведения . . . . .	261
2. Калибры для контроля гладких изделий . . . . .	263
3. Калибры для контроля резьбы . . . . .	272
<b>Глава 15. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА (А. Д. Федоров)</b> . . . . .	300
1. Измерительные головки . . . . .	300
2. Стойки и штативы для измерительных головок . . . . .	304
3. Штангенинструменты . . . . .	306

4. Микрометрические инструменты . . . . .	307
5. Рычажные скобы . . . . .	310
6. Приборы с оптическим рычагом . . . . .	311
7. Длиномеры и измерительные машины . . . . .	316
8. Компараторы . . . . .	319
9. Интерференционные приборы . . . . .	319
10. Приборы для дистанционных измерений . . . . .	321
11. Измерительные лупы . . . . .	322
12. Измерительные микроскопы . . . . .	322
13. Проекторы . . . . .	327
14. Интерференционные и растровые измерительные средства (А. В. Мироненко) . . . . .	328
<b>Глава 16. ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ. КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ (Ю. Н. Орлов) . . . . .</b>	<b>338</b>
1. Измерение отклонений формы . . . . .	338
2. Измерение отклонений расположения . . . . .	348
3. Контроль толщины покрытий . . . . .	352
<b>Глава 17. КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ (А. И. Якушев, В. М. Ульянов) . . . . .</b>	<b>356</b>
1. Образцы шероховатости поверхности (сравнения) . . . . .	356
2. Приборы для измерения параметров шероховатости поверхности . . . . .	357
3. Выбор средств контроля шероховатости поверхности . . . . .	367
4. Измерение параметров шероховатости поверхности приборами профильного метода . . . . .	368
<b>Глава 18. ИЗМЕРЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ И ВАЛОВ МАЛЫХ И БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ (В. Н. Плуталов) . . . . .</b>	<b>371</b>
1. Измерение малых размеров . . . . .	371
2. Измерение больших размеров . . . . .	371
<b>Глава 19. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ И КОНУСОВ (Ю. А. Шачнев) . . . . .</b>	<b>378</b>
1. Угломерные приборы . . . . .	378
2. Методы и средства контроля инструментальных конусов . . . . .	383
<b>Глава 20. ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ РЕЗЬБЫ (А. И. Якушев, Н. Н. Зябрева) . . . . .</b>	<b>386</b>
1. Комплексный контроль резьбы . . . . .	386
2. Дифференцированный контроль резьбы . . . . .	386
<b>Глава 21. ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ДЕТАЛЕЙ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ (В. Н. Колчков) . . . . .</b>	<b>395</b>
1. Контроль точности зубчатых колес . . . . .	395
2. Приборы для контроля зубчатых колес . . . . .	400
3. Контроль кинематической точности цилиндрических зубчатых колес и передач . . . . .	410
4. Контроль плавности работы цилиндрических зубчатых колес и передач . . . . .	415
5. Контроль показателей полноты контакта зубьев цилиндрических зубчатых колес . . . . .	417

6. Контроль показателей бокового зазора в цилиндрических зубчатых передачах . . . . .	418
7. Контроль червячных колес, червяков и червячных передач . . . . .	421
8. Измерение и контроль деталей шпоночных и шлицевых соединений (А. И. Якушев) . . . . .	423
<b>Глава 22. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ (А. Д. Федоров) . . . . .</b>	<b>426</b>
1. Термины и определения . . . . .	426
2. Области применения статистических методов контроля . . . . .	428
<b>Глава 23. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ (Л. Н. Воронцов) . . . . .</b>	<b>432</b>
1. Классификация автоматических средств контроля размеров . . . . .	432
2. Транспортирующие механизмы автоматических контрольных систем . . . . .	433
3. Устройства измерительных позиций автоматических контрольных систем . . . . .	437
4. Датчики и их характеристики . . . . .	444
5. Управляющие, запоминающие, исполнительные и блокировочные устройства . . . . .	454
6. Электрические схемы автоматических средств контроля размеров . . . . .	463
7. Автоматизированные контрольные устройства . . . . .	467
8. Автоматические системы для пассивного контроля размеров (И. А. Недорезов) . . . . .	470
9. Автоматические устройства для активного контроля размеров . . . . .	481
10. Устройства для активного контроля в процессе обработки (автоолераторы) . . . . .	483
11. Автоподладчики и автоблокировки . . . . .	498
<b>Глава 24. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ (А. И. Виноградов) . . . . .</b>	<b>500</b>
1. Цели и методы обработки . . . . .	500
2. Основные определения и математические закономерности . . . . .	500
3. Определение вероятного процента деталей в партии, имеющих погрешности, величины которых лежат в каком-либо заданном интервале . . . . .	504
4. Статистические показатели точности . . . . .	504
5. Проверка гипотезы о законе распределения . . . . .	509
6. Методы суммирования погрешностей . . . . .	511
7. Установление технологических допусков . . . . .	514
Список литературы . . . . .	515
Предметный указатель . . . . .	517

## ВВЕДЕНИЕ



С 1-го января 1977 г. по 1-е января 1980 г. в нашей стране осуществлен переход на Единую систему допусков и посадок СЭВ (ЕСДП СЭВ) для гладких элементов деталей. Одновременно в ближайшие годы наша страна будет переходить на основные нормы взаимозаменяемости СЭВ для остальных типовых деталей и соединений. Допуски и посадки по системе ГОСТ (ОСТ) действовали только до января 1980 г. в технической документации, выпущенной до выхода стандартов СЭВ. В связи с этим в «Справочнике контролера машиностроительного завода» данные по допускам и посадкам будут соответствовать стандартам СЭВ, в том числе СТ СЭВ 144—75, 145—75. Переход вызван необходимостью развития специализации и кооперирования промышленности стран — членов СЭВ, развития международной торговли и устранения технических препятствий этому как в рамках СЭВ, так и вне его. Это обеспечивает также повышение конкурентоспособности продукции стран — членов СЭВ на мировом рынке.

Системы допусков ISO интенсивно внедряются в промышленность. Так, на Волжском автозаводе в г. Тольятти автомобили «Жигули» выпускают в основном с применением системы допусков и посадок ISO. Кроме того, наша страна использует рекомендации других международных организаций, основанные на этой системе.

В первом разделе настоящего издания справочника допуски и посадки по стандартам СЭВ приведены для гладких, резьбовых, шлицевых, шпоночных и конических соединений, зубчатых передач; приведены допуски формы и расположения, а также допустимые величины параметров шероховатости поверхности деталей. В первом разделе справочника приведены также общие сведения по взаимозаменяемости и ее видам, допускам и посадкам подшипников качения, по взаимозаменяемости размеров деталей, входящих в размерные цепи.

Во втором разделе справочника приведены сведения по техническим измерениям геометрических параметров деталей, необходимые контролерам и контрольным мастерам машиностроительных заводов. Даны краткие сведения о метрологической службе предприятия,

о нормальных условиях выполнения линейных и угловых измерений, обеспечивающих необходимую их точность.

В справочнике подробно рассмотрен принцип действия и технические характеристики универсальных и специальных средств измерения, широко применяемых в машиностроении: штангенинструментов и микрометрических инструментов, механических, оптикомеханических и оптических приборов. Рассмотрены методы и средства измерения отклонений формы, расположения и шероховатости поверхностей деталей, резьб, зубчатых колес, углов, автоматические средства контроля размеров, в том числе автоматические средства для активного контроля и самонастраивающиеся измерительные системы, которые все шире применяются в нашей промышленности.

Рассмотрены методы обработки результатов измерения и статистические методы контроля и управления качеством продукции.

В справочнике даны допуски гладких калибров по стандарту СЭВ. Допуски на резьбовые калибры даны по ГОСТ 18107—72. Допуски по этому стандарту будут близки к допускам, предусмотренным стандартом СЭВ, разработка которого закончится после выпуска 3-го издания справочника. Предполагается, что стандарт СЭВ на резьбовые калибры будет охватывать как резьбы с зазором, равным нулю, так и резьбы с зазором и натягом.

При подготовке 3-го издания «Справочника контролера машиностроительного завода» были учтены замечания, полученные по 2-му изданию.

Содержание справочника отражает современное состояние вопросов взаимозаменяемости и технических измерений в машиностроении.

Соблюдение взаимозаменяемости, особенно функциональной, позволяет повысить качество продукции, что соответствует задачам десятилетия.

Под качеством машины понимают совокупность свойств и показателей, определяющих их пригодность для удовлетворения определенных потребностей в соответствии с назначением. Оно зависит от технического уровня машиностроения и его отдельных отраслей, определяемого большим числом факторов: совершенством конструкций машины, качеством применяемых материалов, уровнем технологии и средств производства, уровнем стандартизации и др. Для оценки качества машины разработаны показатели качества. Наиболее эффективными показателями качества машин и механизмов являются их эксплуатационные показатели. Эксплуатационные показатели — это характеристики, определяющие качество выполнения изделием заданных функций. Общими являются показатели надежности и долговечности, эргономические показатели, экономичность эксплуатации и др. Кроме того, в зависимости

от типа машин установлены специфические показатели качества, например производительность и точность обработки для металлорежущих станков.

Для значительного повышения качества машин внедряется Единая система государственного управления качеством продукции, важной частью которой является аттестация качества продукции. При аттестации все изделия относятся к одной из трех категорий: высшей, первой или второй.

К высшей категории относится продукция, которая по технико-экономическим показателям соответствует лучшим отечественным и зарубежным образцам или превосходит их. Изделиям этой категории присваивается государственный Знак качества.

К первой категории относится продукция, отвечающая по технико-экономическим показателям действующим стандартам и техническим требованиям.

Ко второй категории относится продукция, которая не соответствует по технико-экономическим показателям современным требованиям, морально устарела и подлежит модернизации или снятию с производства. Соптовых цен на продукцию второй категории устанавливаются скидки; фонды материального поощрения предприятий, выпускающих такую продукцию, снижаются.

## ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ В МАШИНОСТРОЕНИИ

### Глава I

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ И СИСТЕМАХ ДОПУСКОВ И ПОСАДОК

### I. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ И ЕЕ ВИДЫ

*Взаимозаменяемостью* изделий (машин, приборов, механизмов и т. д.), их частей или других видов продукции (сырья, материалов, полуфабрикатов и т. д.) называют их свойство равноценно заменять при использовании любого из экземпляров изделий, их частей или иной продукции другим однотипным экземпляром. Вид взаимозаменяемости, при которой обеспечивается возможность бесприточной сборки (или замены при ремонте) любых независимо изготовленных с заданной точностью однотипных деталей в составные части, а последних — в изделия при соблюдении предъявляемых к ним технических требований, называют полной взаимозаменяемостью.

Полная взаимозаменяемость достигается только тогда, когда после изготовления размеры, форма, механические, электрические и другие количественные и качественные характеристики детали и составных частей находятся в заданных пределах, а собранные изделия удовлетворяют техническим требованиям.

Взаимозаменяемыми могут быть детали, составные части (узлы) и изделия в целом. В первую очередь такими должны быть те детали и составные части, от которых зависят надежность, долговечность и другие эксплуатационные показатели изделий. Это требование, естественно, распространяется и на запасные части.

Свойство собираемости и возможности равноценной замены любого экземпляра взаимозаменяемой детали и составной части изделия другим однотипным экземпляром позволило на машиностроительных заводах серийного и массового производства изготовление деталей производить в одних цехах, а сборку их в составные части (узлы) и в изделия — в других, независимо одно от другого. При сборке используют стандартные крепежные детали, подшипники качения, электро-технические, резиновые и пластмассовые изделия, а часто и унифицированные агрегаты, получаемые по кооперации от других предприятий. При полной взаимозаменяемости сборка составных частей и машин, удовлетворяющих предъявляемым требованиям, производится без доработки деталей и составных частей. Такое производство называют взаимозаменяемым.

Преимущества полной взаимозаменяемости следующие: упрощается процесс сборки, он сводится к простому соединению деталей рабочими в основном невысокой квалификации; сборочный процесс точно нормируется во времени, легко укладывается в устанавливаемый темп работы и может быть организован поточным методом; создаются

условия для автоматизации процессов изготовления и сборки изделий; возможны широкая специализация и кооперирование заводов (т. е. изготовление заводом-поставщиком ограниченной номенклатуры унифицированных изделий, узлов и деталей и поставка их заводу, выпускающему основные изделия); упрощается ремонт изделий, так как любая износившаяся или сломанная деталь или узел могут быть заменены новыми (запасными).

*Неполная (ограниченная) взаимозаменяемость* имеет место в тех случаях, когда требование полной взаимозаменяемости, при обязательном выполнении требований к качеству составных частей или изделия в целом, приводит к необходимости изготовления всех или части деталей с малыми, технологически трудно выполнимыми или экономически невыгодными допусками. В этих случаях допускаются дополнительные технологические мероприятия, например групповой подбор деталей (селективная сборка), введение компенсатора, регулирование, пригонка части деталей и т. д.

*Внешняя взаимозаменяемость* — это взаимозаменяемость покупных и кооперируемых изделий (монтируемых в другие, более сложные изделия) и составных частей (узлов) по эксплуатационным показателям, а также по размерам и форме присоединительных поверхностей, т. е. таких, по которым взаимосвязанные узлы основного изделия соединяются между собой или с покупными и кооперируемыми агрегатами. Например, в электродвигателях внешняя взаимозаменяемость осуществляется по числу оборотов вала и мощности, а также по размерам присоединительных поверхностей.

*Внутренняя взаимозаменяемость* распространяется на детали, составляющие отдельные узлы, или составные части и механизмы, входящие в изделие. Например, в подшипнике качения внутренней групповой взаимозаменяемостью обладают тела качения и кольца.

## 2. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ [22]

Проведение исследования и опыт промышленности показывают, что изготовление деталей и составных частей (узлов) с четко оговоренными геометрическими, механическими, электрическими и другими функциональными параметрами, при оптимальной их точности и при создании гарантированного запаса работоспособности машин и приборов позволяет обеспечить взаимозаменяемость всех выпускаемых заводом отдельных изделий по их эксплуатационным показателям, т. е. по показателям качества их функционирования (производительности, мощности, точности и др.). Взаимозаменяемость машин и других изделий по оптимальным эксплуатационным показателям (ЭКП) является основной целью принципа взаимозаменяемости в машиностроении. В последнее время такую взаимозаменяемость называют *функциональной* для того, чтобы подчеркнуть необходимость установления точности функциональных параметров, определяющих ЭКП изделий.

*Функциональными* являются геометрические, электрические, механические и другие параметры, влияющие на эксплуатационные показатели машин и других изделий или на служебные функции их составных частей (узлов). Так, например, от величины зазора между поршнем и цилиндром (функционального параметра) зависит мощность двигателя (эксплуатационный показатель), или весовая и объемная производительность в поршневых компрессорах. Зазор или дру-

гие параметры называются функциональными, чтобы подчеркнуть их связь со служебными функциями составных частей (узлов) и ЭКП изделий. Математически связь их величин с эксплуатационными показателями может быть как функциональной, так и стохастической (вероятностной).

Чтобы получить наибольшую эффективность взаимозаменяемости, необходимо при конструировании, производстве и эксплуатации машин и других изделий учитывать весь комплекс научно-технических исходных положений, объединяемых понятием «*принцип функциональной взаимозаменяемости*».

*Исходные положения, используемые при конструировании изделий.* Взаимозаменяемость ответственных деталей и составных частей необходимо обеспечивать не только по размерам, форме и другим геометрическим параметрам, но и по показателям механических свойств материала (особенно поверхностного слоя деталей), а также по электрическим, гидравлическим, оптическим, химическим и другим функциональным параметрам (в зависимости от принципа действия машины). Важно обеспечивать однородность исходного сырья, материалов, заготовок и полуфабрикатов по химическому составу и структуре, равный уровень и стабильность механических, физических и химических свойств, а также точность и стабильность размеров и форм заготовок.

Возможность обеспечения функциональной взаимозаменяемости должна создаваться на стадии проектирования изделий. Для этого следует выявлять функциональные параметры, от которых главным образом зависят значения и допустимый диапазон отклонений эксплуатационных показателей изделий.

При расчете точности функциональных параметров необходимо создавать гарантированный запас работоспособности изделий, который обеспечит сохранение эксплуатационных показателей к концу срока их эксплуатации в заданных пределах. Необходимо проводить оптимизацию допусков, устанавливая меньшие допуски для тех функциональных параметров, погрешности которых наиболее сильно влияют на эксплуатационные показатели изделий.

Установление связей эксплуатационных показателей с функциональными параметрами и независимое изготовление деталей и составных частей по этим параметрам с точностью, определенной исходя из допустимых отклонений эксплуатационных показателей изделий в конце срока их службы, — одно из главных условий обеспечения функциональной взаимозаменяемости.

Разработка чертежей и технических требований с указанием требуемой точности размеров и других параметров деталей, составных частей и изделий является первой составной частью принципа взаимозаменяемости, выполняемой в процессе конструирования изделий.

Для создания большего запаса работоспособности машин целесообразно, чтобы для ответственных функциональных параметров соблюдалось условие

$$T > T_r \quad (1)$$

где  $T$  — допуск параметра, устанавливаемый исходя из эксплуатационных требований;  $T_r$  — технологический допуск, обеспечиваемый при принятом технологическом процессе.



Точность оборудования и оснастки должна быть несколько выше требуемой точности изготавливаемых деталей и составных частей, т. е. необходимо иметь запас точности.

Для обеспечения взаимозаменяемости и высокого качества машин и других изделий необходимо, чтобы технологические и измерительные базы совпадали с конструктивными, т. е. нужно соблюдать принцип единства баз. Кроме того, схема измерения должна соответствовать схеме рабочих движений детали в механизме. Примером такой схемы может служить однопрофильный контроль зубчатых колес.

Целесообразно, чтобы технические измерения были органически связаны с технологическим процессом и направлены главным образом на профилактику брака, что достигается путем управления точностью процессов изготовления.

Для практического осуществления принципа функциональной взаимозаменяемости изделий необходима четкая система конструкторской, технологической, метрологической и эксплуатационной документации.

### 3. НОМИНАЛЬНЫЙ, ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЙ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ, ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ, ДОПУСКИ И ПОСАДКИ (по СТ СЭВ 145—75)

**Номинальный размер** ( $D, d, l, r$  и др.) — размер, относительно которого определяют предельные размеры и который служит также началом отсчета отклонений. Для деталей, составляющих соединение, номинальный размер является единым. Номинальные размеры, определяющие величину детали, находят при расчете их на прочность и жесткость, исходя из усовершенствования геометрических форм и обеспечения технологичности конструкций изделий.

Для сокращения числа типоразмеров материала, заготовок и деталей, режущего (сверл, разверток, зенкеров) и измерительного инструмента, калибров, штампов, приспособлений, а также для облегчения типизации технологических процессов размеры, полученные расчетом, нужно округлять (как правило, в большую сторону), они должны соответствовать значениям, указанным в СТ СЭВ 514—77. Ряды номинальных линейных размеров (диаметров, длин, высот и т. п.) построены на базе рядов предпочтительных чисел, но с некоторым округлением их значений (табл. 1).

При выборе предпочтении нужно отдавать нормальным размерам из рядов с более крупной градацией (5-й ряд следует предпочитать 10-му, 10-й — 20-му, 20-й — 40-му).

Технологические межоперационные размеры, размеры, зависящие от других принятых размеров, а также размеры, регламентированные в стандартах на конкретные изделия (например, размеры среднего диаметра резьбы), могут и не соответствовать СТ СЭВ 514—77.

**Действительный размер** — размер, установленный измерением с допустимой погрешностью. Этот термин введен потому, что в производстве невозможно выполнить абсолютно точно требуемые размеры деталей, некоторая погрешность вносится также при измерении.

Действительный размер детали в работающей машине вследствие ее износа, деформаций (упругой, остаточной, тепловой) и других причин отличается от размера, определенного в статическом состоянии

#### 1. Знаменатели прогрессии и примеры нормальных размеров

Наименование ряда	Знаменатели прогрессии	Примеры нормальных размеров, мм
$Ra\ 5$	5 $\sqrt[5]{10} \approx 1,6$	10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250
$Ra\ 10$	10 $\sqrt[10]{10} \approx 1,25$	10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50
$Ra\ 20$	20 $\sqrt[20]{10} \approx 1,12$	10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 22
$Ra\ 40$	40 $\sqrt[40]{10} \approx 1,06$	10; 10,5; 11; 11,5; 12; 13; 14; 15

или при сборке. Это необходимо учитывать при точностном анализе механизма в целом.

**Предельные размеры детали** — два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер годной детали. Большой из них называют **наибольшим предельным размером**, меньший — **наименьшим предельным размером**. Обозначим их  $D_{\max}$  и  $D_{\min}$  — для отверстия,  $d_{\max}$  и  $d_{\min}$  — для вала (рис. 1). Сравнение действительного размера с предельными дает возможность судить о годности детали.

Стандартом СТ СЭВ 145—75 введены понятия проходного и непроходного пределов размера.

**Проходной предел** — термин, применяемый к тому из двух предельных размеров, который соответствует максимальному количеству материала, а именно верхнему пределу для вала, нижнему пределу для отверстия (в случае применения предельных калибров речь идет о предельном размере, проверяемом проходным калибром).

**Непроходной предел** — термин, применяемый к тому из двух предельных размеров, который соответствует минимальному количеству материала, а именно нижнему пределу для вала, верхнему пределу для отверстия (в случае применения предельных калибров речь идет о предельном размере, проверяемом непроходным калибром).

Чтобы гарантировать в наибольшей практической достижимой степени выполнение функциональных требований системы допусков и посадок, **предельные размеры на предписанной длине** должны быть истолкованы следующим образом.

**Для отверстий** диаметр наибольшего правильного воображаемого цилиндра, который может быть вписан в отверстие так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступающими точками поверхности (размер сопрягаемой детали идеальной геометрической формы, прилегающей к отверстию без зазора), не должен быть меньше, чем проходной предел размера. Дополнительно наибольший диаметр в любом месте отверстия не должен превышать непроходного предела размера.

**Для валов** диаметр наименьшего правильного воображаемого цилиндра, который может быть описан вокруг вала так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступающими точками поверхности (размер сопрягаемой детали идеальной геометрической формы, прилегающей

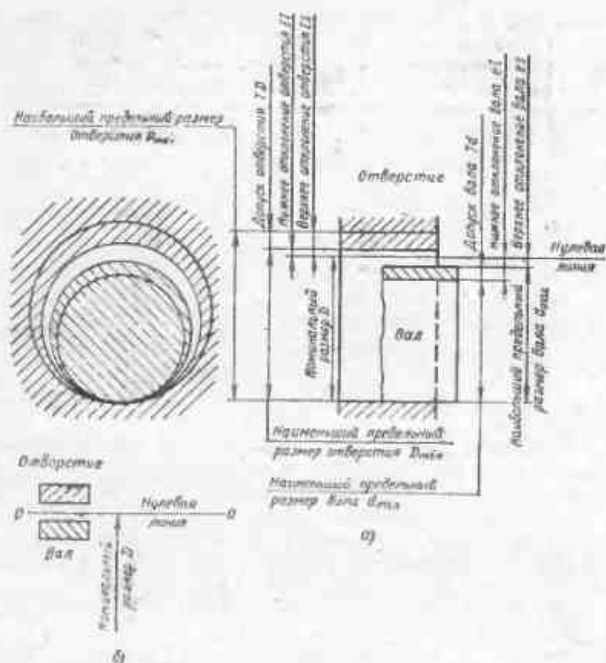


Рис. 1. Расположение полей допусков отверстия и вала при посадке с зазором (оба отклонения отверстия положительны)

щей к валу без зазора), не должен быть больше, чем проходной предел размера. Дополнительно минимальный диаметр в любом месте вала не должен быть меньше, чем непроходной предел размера.

Для упрощения чертежа введены *предельные отклонения* от номинального размера, представляемые рядом с этим размером.

*Верхним предельным отклонением*  $ES, es$  называют алгебраическую разность между наибольшим предельным и номинальным размерами; *нижним предельным отклонением*  $EI, ei$  — алгебраическую разность между наименьшим предельным и номинальным размерами. Для отверстия верхнее отклонение  $ES = D_{\max} - D$ , нижнее отклонение  $EI = D_{\min} - D$ ; для вала верхнее отклонение  $es = d_{\max} - D$ , нижнее  $ei = d_{\min} - D$  (см. рис. 1).

*Действительным отклонением* называют алгебраическую разность между действительным и номинальным размерами. Отклонение является положительным, если предельный или действительный размер больше номинального, и отрицательным, если указанные размеры меньше номинального.

На машиностроительных чертежах номинальные (или предельные) линейные размеры представляют в миллиметрах без указания размерности. Другие единицы измерения (например, сантиметры, метры и т. д.)

указывают рядом с соответствующим размером или в технических требованиях. Угловые размеры и их предельные отклонения указывают с обозначением единицы измерения, например:  $0^\circ 30' 40''$ .

Предельные отклонения в таблицах допусков проставляют в микрометрах, а на чертежах в миллиметрах более мелким шрифтом. Например,  $42^{+0,013}_{-0,013}$ ,  $42^{+0,011}_{-0,025}$ . Верхнее отклонение ставят немного выше, а нижнее — несколько ниже номинального размера. При равенстве абсолютных величин отклонений их величину указывают один раз со знаком  $\pm$  рядом с номинальным размером и одинаковым с ним шрифтом (например,  $60 \pm 0,2$ ;  $120^\circ \pm 20'$ ).

Отклонение, равное нулю, на чертеже не ставят. В этом случае наносится только одно отклонение — положительное на месте верхнего или отрицательное на месте нижнего предельного отклонения (например,  $200^{-0,2}$ ;  $200^{+0,2}$ ).

Допуском  $T^*$  называют разность между наибольшим и наименьшим допустимыми значениями того или иного параметра. Допуск размера  $T$  — разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или абсолютная величина алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями. Допуск — величина всегда положительная. Он определяет величину допустимого рассеяния действительных размеров годных деталей в партии, т. е. заданную точность изготовления. С увеличением допуска качество изделий, как правило, ухудшается, но стоимость изготовления уменьшается.

Графическое изображение полей допусков. Для упрощения допуски изображают графически в виде полей допусков (см. рис. 1, а и рис. 1, б). При этом ось изделия (на рис. 1, б не показана) всегда располагается под схемой.

*Поле допуска* определяется величиной допуска и его положением относительно номинального размера. При графическом изображении поле допуска заключено между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии.

*Нулевая линия* — линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок. Будем ее обозначать «00». Если нулевая линия расположена горизонтально, то положительные отклонения откладываются вверх от нее, а отрицательные — вниз.

*Соединения*. Две или несколько подвижно или неподвижно соединяемых деталей называют сопрягаемыми.

Поверхности, по которым происходит соединение деталей, называют *сопрягаемыми*, остальные поверхности — *несопрягаемые (свободные)*. В соответствии с этим различают размеры сопрягаемых и несопрягаемых (свободных) поверхностей.

В соединениях деталей, входящих одна в другую, различают *охватывающие* и *охватываемые поверхности*.

*Вал* — термин, применяемый для обозначения наружных (охватываемых) элементов (поверхностей) деталей.

*Отверстие* — термин, применяемый для обозначения внутренних (охватывающих) элементов (поверхностей) деталей.

Термины отверстие и вал относятся не только к цилиндрическим деталям круглого сечения, но и к элементам деталей другой формы.

\* Начальной буквой французского слова Tolérance — допуск.



например ограниченным двумя параллельными плоскостями (ваз, шпонка).

Допуски размеров охватывающей и охватываемой поверхностей будем сокращенно называть соответственно *допуском отверстия TD* и *допуском вала Td*.

**Посадки.** Посадкой называют характер соединения деталей, определяемый величиной получающихся в нем зазоров или натягов. Посадка характеризует свободу относительного перемещения соединяемых деталей или степень сопротивления их взаимному смещению.

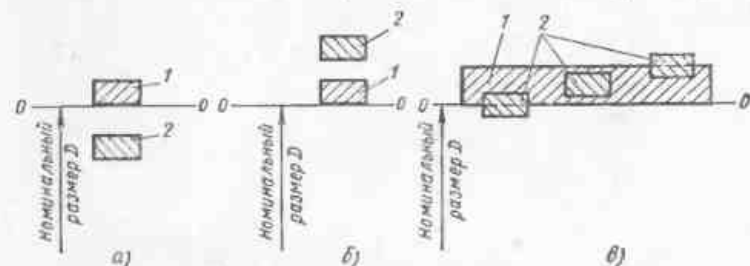


Рис. 2. Расположение полей допусков посадок: а — с зазором; б — с натягом; в — переходных; 1 — поля допусков отверстий; 2 — поля допусков валов

В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала *посадка* может быть *с зазором*, *с натягом* или *переходной*, при которой возможно получение как зазора, так и натяга.

На рис. 1 показана посадка с зазором. На рис. 2 даны схемы полей допусков для разных посадок.

**Зазор S** — разность размеров отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала; он обеспечивает возможность относительного перемещения собранных деталей; наибольший, наименьший и средний зазоры определяют по формулам

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}; \quad S_{\min} = D_{\min} - d_{\max};$$

$$S_m = \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2}.$$

**Натяг N** — разность размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия; он обеспечивает взаимную неподвижность деталей после их сборки. *Наибольший, наименьший и средний натяги* определяют по формулам

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}; \quad N_{\min} = d_{\min} - D_{\max}; \quad N_m = \frac{N_{\max} + N_{\min}}{2}.$$

**Посадка с зазором** — посадка, при которой обеспечивается зазор в соединении [поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала (рис. 2, а)].

К посадкам с зазором относятся также посадки, в которых нижняя граница поля допуска отверстия совпадает с верхней границей поля допуска вала, т. е.  $S_{\min} = 0$ .

**Посадка с натягом** — посадка, при которой обеспечивается натяг в соединении [поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала (рис. 2, б)].

**Переходная посадка** — посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга [поля допусков отверстия и вала перекрываются частично или полностью (рис. 2, в)]. В переходных посадках при наибольшем предельном размере вала и наименьшем предельном размере отверстия получается наибольший натяг, а при наибольшем предельном размере отверстия и наименьшем предельном размере вала — наибольший зазор.

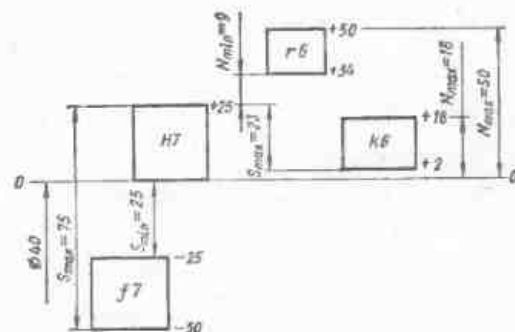


Рис. 3. Пример расположения полей допусков для трех посадок

Из-за неточности выполнения размеров отверстия и вала зазоры и натяги в соединениях, рассчитанные исходя из эксплуатационных требований, не могут быть выдержаны точно.

**Допуск посадки** — разность между наибольшим и наименьшим допустимыми зазорами (допуск зазора  $TS$  в посадках с зазором) или наибольшим и наименьшим допустимыми натягами (допуск натяга  $TN$  в посадках с натягом):

$$TS = S_{\max} - S_{\min}; \quad TN = N_{\max} - N_{\min}. \quad (2)$$

В переходных посадках допуск посадки определяется суммой наибольшего натяга и наибольшего зазора, взятых по абсолютной величине.

Для всех типов посадок допуск посадки численно равен сумме допусков отверстия и вала, т. е.

$$TS(TN) = TD + Td. \quad (3)$$

Пример обозначения посадки:  $40H7/g6$  (или  $40H7-k6$ , или  $40\frac{H7}{g6}$ ), где 40 — номинальный размер в мм, общий для отверстия и вала.

Пример. Определить предельные размеры, допуски, зазоры и натяги в соединениях при посадке с зазором, посадке с натягом и переходной посадке. Предельные отклонения взяты из стандарта СЭВ (рис. 3) и для отверстий остаются неизменными для всех приводимых в примере посадок [22].

## Отверстие

Номинальный размер 40 мм;  $EI = 0$ ;  $ES = +25$  мкм;  $D_{\min} = 40$  мм;  
 $D_{\max} = 40,00 + 0,025 = 40,025$  мм;  $TD = 40,025 - 40,000 = 0,025$  мм.

Для посадки с зазором (40 H7/f7);

## Вал

Номинальный размер 40 мм;  
 $e_i = -50$  мкм;  $es = -25$  мкм;  
 $d_{\min} = 40,000 - 0,050 = 39,950$  мм;  
 $d_{\max} = 40,000 - 0,025 = 39,975$  мм;  
 $fd = 39,975 - 39,950 = 0,025$  мм.

## Соединение

Номинальный размер 40 мм;  
 $S_{\max} = 40,025 - 39,950 = 0,075$  мм;  
 $S_{\min} = 40,000 - 39,975 = 0,025$  мм;  
 $TS = 0,075 - 0,025 = 0,050$  мм.

Для посадки с натягом (40H7/r6);

## Вал

Номинальный размер 40 мм;  
 $ei = +34$  мкм;  $es = +50$  мкм;  
 $d_{\min} = 40,000 + 0,034 = 40,034$  мм;  
 $d_{\max} = 40,000 + 0,050 = 40,050$  мм;  
 $fd = 40,050 - 40,034 = 0,016$  мм.

## Соединение

Номинальный размер 40 мм;  
 $N_{\max} = 40,050 - 40,000 = 0,050$  мм;  
 $N_{\min} = 40,034 - 40,025 = 0,009$  мм;  
 $TN = 0,050 - 0,009 = 0,041$  мм.

Для переходной посадки (40H7/k6);

## Вал

Номинальный размер 40 мм;  
 $ei = +2$  мкм;  $es = +18$  мкм;  
 $d_{\min} = 40,000 + 0,002 = 40,002$  мм;  
 $d_{\max} = 40,000 + 0,018 = 40,018$  мм;  
 $fd = 40,018 - 40,002 = 0,016$  мм.

## Соединение

Номинальный размер 40 мм;  
 $S_{\max} = 40,025 - 40,002 = 0,023$  мм;  
 $N_{\max} = 40,018 - 40,000 = 0,018$  мм;  
 $TN = 0,018 + 0,023 = 0,041$  мм.

## 4. НОРМИРОВАННАЯ И ДЕЙСТВИТЕЛЬНАЯ ТОЧНОСТЬ

Вследствие неточности технологического оборудования, погрешностей и износа инструмента и приспособлений, силовой и температурной деформации системы станок—приспособление—инструмент—деталь (СПИД), неоднородности физико-механических свойств материала и остаточных напряжений в деталях, непостоянства их электрических и магнитных свойств, а также из-за ошибок рабочего и других причин действительные значения геометрических, механических и других параметров деталей и изделий могут отличаться от расчетных (заданных), т. е. могут иметь погрешности.

Погрешность  $\Delta_x$  — это разность между действительным  $x$  и расчетным  $x_{расч}$  размерами, т. е.

$$\Delta_x = x - x_{расч} \quad (4)$$

Расчетным (заданным) размером будем считать для охватываемых поверхностей (валов) наибольший предельный размер, а для охватываемых (отверстий) — наименьший предельный размер, т. е. проходной предел. При таком условии годный вал может иметь только отрицательные погрешности, не превосходящие по абсолютной величине допуск, а годные отверстия — только положительные и также не превышающие допуск.

Для расчетов, в которых используются теоретико-вероятностные методы, за расчетный размер целесообразнее принимать средний из предельных размеров, т. е. размер, соответствующий середине поля

допуска. В этом случае предельные допустимые погрешности будут равны по абсолютной величине половине допуска.

Точностью изготовления называют степень приближения действительных значений геометрических и других параметров деталей и изделий к их заданным значениям, указанным в чертежах или технических условиях.

Необходимо различать *нормированную точность* деталей, узлов и изделий, т. е. совокупность допускаемых отклонений от расчетных значений геометрических и других параметров, и *действительную точность*, т. е. совокупность действительных отклонений, определенных в результате измерения (с допустимой погрешностью). Степень соответствия действительной точности нормированной зависит от качества материала и заготовок, технологичности конструкций изделий, точности их изготовления и сборки и от ряда других факторов. Достичь заданную точность — значит изготовить детали и собрать механизм так, чтобы погрешности геометрических, электрических и других параметров находились в условленных пределах.

При определении действительных зазоров за действительный размер отверстия целесообразно принимать диаметр вписанного в действительную поверхность цилиндра, т. е. наименьший размер, а для вала — диаметр описанного цилиндра, т. е. наибольший из размеров в разных сечениях детали. Однако для прецизионных машин и приборов следует учитывать характер отклонений формы деталей. Для деталей, образующих посадки с натягом, характер соединения определяется средним из размеров, полученных при измерении детали в нескольких сечениях и в разных направлениях, который и принимается за действительный размер.

## 5. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ДОПУСКОВ И ПОСАДОК ДЛЯ ТИПОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ДРУГИХ ИЗДЕЛИЙ

Системой допусков и посадок называют совокупность рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов. Система предназначена для выбора минимально необходимых, но достаточных для практики вариантов допусков и посадок типовых соединений деталей машин; она создает возможность стандартизации режущих инструментов и калибров, облегчает конструирование, производство и достижение взаимозаменяемости изделий и их частей, а также повышает их качество. В нашей стране применяются системы допусков и посадок, оформленные рядом государственных стандартов (ГОСТов).

Системы допусков и посадок ГОСТ, ISO и ЕСПД СЭВ для типовых деталей машин построены по единым принципам, которые рассматриваются ниже.

Стандартами предусмотрены посадки в системе отверстия и в системе вала (рис. 4).

Посадки в системе отверстия — посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных валов с основным отверстием (рис. 4, а), которое обозначают буквой *H*.

Посадки в системе вала — посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных отверстий с основным валом (рис. 4, б), который обозначают буквой *h*.

Для всех посадок в системе отверстия, нижнее отклонение отверстия  $EI = 0$ , т. е. нижняя граница поля допуска отверстия, называемого основным отверстием, всегда совпадает с нулевой линией. Для всех посадок в системе вала верхнее отклонение вала  $es = 0$ , т. е. верхняя граница поля допуска вала, называемого основным валом, всегда

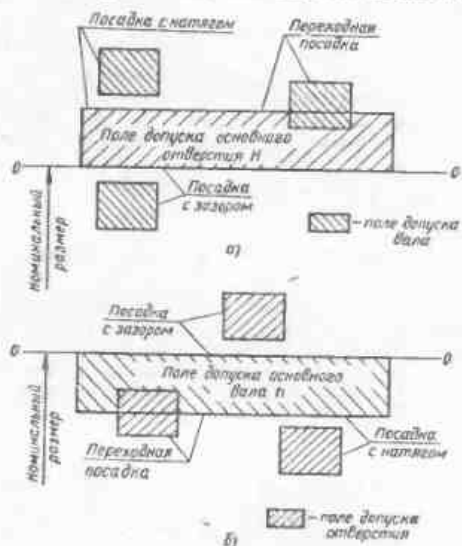


Рис. 4. Расположение полей допусков отверстий и валов:  
а — в системе отверстия; б — в системе вала

совпадает с нулевой линией. Поле допуска основного отверстия откладывается вверх, а основного вала — вниз от нулевой линии, т. е. в материал детали. Такую систему допусков называют односторонней предельной. Характеристики одноименных посадок (т. е. предельные величины зазоров и натягов) в системе отверстия и в системе вала примерно одинаковы.

Выбор системы отверстия или системы вала для образования той или иной посадки определяется конструктивными, технологическими и экономическими условиями.

Точные отверстия обрабатывают дорогостоящим режущим инструментом (зенкерами, развертками, протяжками и т. п.). Каждый из них применяют для обработки отверстия только одного размера с определенным полем допуска. Валы же независимо от их размера обрабатывают одним и тем же резцом или шлифовальным кругом.

В системе отверстия различных по предельным размерам отверстий будет меньше, чем в системе вала, а следовательно, будет меньше

и номенклатура режущего инструмента, необходимого для обработки отверстий. В связи с этим преимущественное распространение получила система отверстия. Уменьшение номенклатуры позволяет увеличить изготавливаемые централизованно партии инструмента, применить производственное специализированное оборудование и тем самым увеличить выпуск инструмента с наименьшими затратами.

Однако в некоторых случаях, по конструктивным соображениям, приходится применять систему вала, например, когда требуется соединить один и тот же вал с несколькими отверстиями одинакового номинального размера, но с различными посадками. Систему вала выгоднее применять и тогда, когда детали типа тяг, осей, валиков могут быть изготовлены из точных холоднотянутых прутков без механической обработки их наружной поверхности. При выборе системы надо учитывать также допуски на стандартные детали и составные части изделий. Например, вал для соединения с внутренним кольцом подшипника качения следует всегда изготавливать по системе отверстия, а гнездо в корпусе для установки подшипника — по системе вала.

Единица допуска  $i$ , отражая влияние технологических, конструктивных и метрологических факторов, выражает зависимость допуска от номинального размера, ограничиваемого допуском, и является мерой точности.

В системе ISO и ЕСДП СЭВ единицы допуска для размеров 1—500 мм

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D; \quad (5)$$

для размеров свыше 500 до 3150 мм

$$i = 0,004D + 2,1, \quad (6)$$

где  $i, I$  — в мкм,  $D$  — среднегеометрическое крайних размеров каждого интервала (в мм), определяемое по формуле

$$D = \sqrt{D_{\min} D_{\max}}. \quad (7)$$

Для интервала до 3 мм принимают  $D = \sqrt[3]{3}$ .

Зная  $i (I)$ , допуск для любого качества можно определить по уравнению

$$T = ai, \quad (8)$$

где  $a$  — коэффициент, равный числу единиц допуска, зависящий от качества и не зависящий от номинального размера.

Квалитеты (степени точности для резьбовых соединений, зубчатых передач и других изделий) установлены для назначения различной точности деталей. Для нормирования требуемых уровней точности системой СЭВ установлены качества изготовления деталей и изделий.

Под качеством понимают совокупность допусков, характеризующих постоянной относительной точностью (определяемой коэффициентом  $a$ ) для всех номинальных размеров данного диапазона (например, от 1 до 500 мм); точность в пределах одного качества изменяется только в зависимости от номинального размера. Число квалитетов определялось потребностью различных отраслей промышленности, перспективами повышения точности изделий, границами достижимой точности изделий, а также функциональными и технологическими факторами.

Квалитет определяет величину допуска на изготовление, а следовательно, и соответствующие методы и средства обработки деталей машин.

Ряды допусков и интервалы размеров для каждого квалитета построены по формуле (8). В каждом ряду различные по величине размеры имеют одну и ту же относительную точность, определяемую соответствующим значением  $a$ . В системе ГОСТ допуски для цилиндрических деталей были установлены для размеров до 31 500 мм с разбивкой на пять диапазонов: менее 0,01 до 0,1 мм исключительно, от 0,1 до 1 мм исключительно, от 1 до 500 мм включительно, свыше 500 до 10 000 мм включительно и свыше 10 000 до 31 500 мм. В системе ISO и ЕСДП СЭВ допуски установлены для размеров до 500 мм и св. 500 до 3150 мм, а в ЕСДП СЭВ также и для размеров свыше 3150 до 10 000 мм. В системе СЭВ поля допусков для размеров менее 1 мм установлены отдельно.

Для построения рядов допусков каждый из диапазонов размеров в свою очередь разделен на несколько интервалов и величины допусков приняты одинаковыми для всех размеров, объединенных в один интервал, например для размеров свыше 6 до 10 мм. Назначать допуск для каждого номинального размера было бы нецелесообразно, так как таблицы допусков в этом случае получились бы весьма громоздкими, а сами допуски для смежных размеров отличались бы один от другого на незначительную величину.

Диаметры по интервалам распределены таким образом, чтобы допуски, подсчитанные по крайним значениям в каждом интервале, отличались от допусков, подсчитанных по среднеарифметическому значению диаметра в том же интервале, не более чем на 5—8%.

Нормальная температура во всех странах принята равной  $+20^\circ\text{C}$ . Допуски и отклонения, устанавливаемые стандартами, относятся к деталям, размеры которых определены при нормальной температуре. Такая температура принята как близкая к температуре рабочих помещений машиностроительных и приборостроительных заводов. Градуировка и аттестация всех линейных и угловых мер и измерительных приборов, а также точные измерения должны производиться при нормальной температуре. Отступления от этой температуры не должны превышать допустимых значений (см. ГОСТ 8.050—73). Поэтому необходимо, чтобы температура детали и измерительного средства в момент контроля была одинаковой, что может быть достигнуто при совместной выдержке детали и измерительного средства в одинаковых условиях (например, на чугунной плите).

Погрешность измерения может возникнуть также и от местного нагрева. Например, под действием тепла руки контролера в течение 15 мин размер скобы для проверки валов диаметром 175 мм изменится на 8 мкм, а скобы для проверки валов диаметром 280 мм — на 11 мкм. Поэтому необходимо применять тепловую изоляцию (например, термоизолирующие накладки и ручки у скоб) или термозолирующие перчатки для контролеров.

Величину температурной погрешности  $\Delta l$  приближенно определяют по формуле

$$\Delta l \approx l (\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2), \quad (9)$$

где  $l$  — измеряемый размер, мм;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — коэффициенты линейного расширения материалов соответственно детали и измерительного сред-

ства;  $\Delta t_1 = t_1 - 20^\circ\text{C}$  — разность между температурой детали  $t_1$  и нормальной температурой;  $\Delta t_2 = t_2 - 20^\circ\text{C}$  — разность между температурой измерительного средства  $t_2$  и нормальной температурой.

При полном выравнивании температуры, если она не равна  $20^\circ\text{C}$ , также неизбежны ошибки из-за разности коэффициентов линейного расширения детали и измерительного средства. В этом случае (т. е. при  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$ ) величину погрешности определяют по формуле

$$\Delta l \approx l \Delta t (\alpha_1 - \alpha_2). \quad (10)$$

Если температура воздуха в цехе, температура детали и измерительного средства равна  $20^\circ\text{C}$ , то температурная погрешность измерения отсутствует при любой разности коэффициентов линейного расширения, так как при  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 0$  и  $\Delta t = 0$ .

Формулы (9) и (10) являются приближенными, так как из-за сложности конфигурации деталей деформация их размеров при изменении температуры не подчиняется линейному закону.

В отдельных случаях погрешность измерения, вызванная отклонением от нормальной температуры и разностью коэффициентов линейного расширения материалов детали и измерительного средства, может быть учтена весьма приближенно введением поправки, равной погрешности, взятой с обратным знаком. Поэтому для устранения температурных погрешностей необходимо соблюдать нормальный температурный режим в помещениях измерительных лабораторий, инструментальных, механических и сборочных цехов, вводя в них кондиционирование воздуха.

## ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ПО ФОРМЕ И РАСПОЛОЖЕНИЮ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ



При анализе точности геометрической формы деталей различают *номинальные* (т. е. идеальные) поверхности, форма которых задана чертежом, и *реальные* (действительные) поверхности, ограничивающие тело и отделяющие его от окружающей среды.

Реальные поверхности деталей получаются в результате обработки или последующего видоизменения поверхностей в процессе эксплуатации. Аналогично следует различать номинальный и реальный профили, а также номинальное и реальное расположение поверхностей или профилей.

Номинальное расположение поверхностей определяется номинальными линейными и угловыми размерами, т. е. углами или расстояниями между ними и базами, или между рассматриваемыми поверхностями, если базы не заданы. Реальное расположение поверхностей определяется действительными линейными и угловыми размерами.

Базой называют поверхность, ось, точку или плоскость симметрии, по отношению к которой задаются допуски расположения. Профилем поверхности или контуром сечения называют линию пересечения поверхности с плоскостью или с заданной поверхностью.

### 1. СИСТЕМА НОРМИРОВАНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ (по СТ СЭВ 301—76)

*Отклонением формы поверхности* (или профиля) называют отклонение формы реальной поверхности (реального профиля) от формы номинальной поверхности (номинального профиля). Аналогично определяется отклонение расположения. Шероховатость поверхности не включается в отклонение формы, волнистость поверхности включается. В особых случаях допускается нормировать отклонение формы, включая шероховатость поверхности, а волнистость нормировать отдельно (или нормировать часть отклонения формы без учета волнистости).

В основу нормирования и количественной оценки отклонений формы и расположения поверхностей положен принцип введения прилегающих прямых, поверхностей и профилей. *Прилегающая прямая* (или плоскость) — это прямая (или плоскость), соприкасающаяся с реальным профилем и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реального профиля в пределах нормируемого участка имело минимальное значение. *Прилегающая окружность* (или цилиндр) — это окружность (или цилиндр) минимального диаметра, описанные вокруг реального профиля наружной поверхности вращения, или максимального диаметра, вписанные в реальный профиль внутренней поверхности вращения.

При измерении прилегающими поверхностями служат рабочие поверхности контрольных плит, интерференционных стекол, декальных и поперечных линеек, калибров, контрольных оправок и т. п.

Количественно отклонение формы оценивается наибольшим расстоянием  $\Delta$  от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) по нормали к последней.

### 2. ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*Отклонением от цилиндричности* называют наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра (рис. 1). Поле допуска цилиндричности — это пространство, ограниченное двумя соосными цилиндрами, отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску цилиндричности  $T$ .

Для цилиндрических поверхностей рассматриваются отклонения формы в поперечном и в продольном сечениях.

*Отклонением от круглости\** называют наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реального профиля до прилегающей окружности (рис. 2, а). Допуск круглости  $T$  — наибольшее допускаемое значение отклонения от круглости.

Частными видами отклонений от круглости являются овальность и огранка. *Овальность* — отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой овалобразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 2, б). *Огранка* — отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру (рис. 2, в).

Овальность детали возникает, например, вследствие биения шпинделя токарного или шлифовального станков. Появление огранки объясняется изменением положения мгновенного центра вращения при обработке детали, что часто наблюдается при бесцентровом шлифовании. Мгновенных центров вращения (а следовательно, и граней) может быть три и более.

Количественно овальность и огранка оцениваются так же, как отклонение от круглости. В ранее разработанной технической документации овальность оценивалась разностью между наибольшим и наименьшим диаметром поперечного сечения, т. е. удвоенным значением отклонения от круглости.

Отклонением профиля продольного сечения цилиндрической поверхности называют наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек, образующих профиль реальной поверхности, лежащих в плоскости, проходящей через ее ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пре-

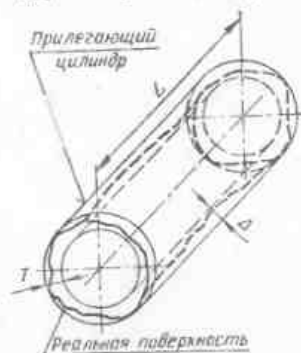


Рис. 1. Отклонение от цилиндричности

\* Термины «некруглость», «неплоскостность» и т. п. не рекомендуются.

делах нормируемого участка (рис. 2, з). Отклонение профиля продольного сечения характеризует отклонения от прямолинейности и параллельности образующих.

Частными видами отклонения профиля продольного сечения являются конусообразность, бочкообразность и седлообразность.

**Конусообразность** — отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны (рис. 2, д).

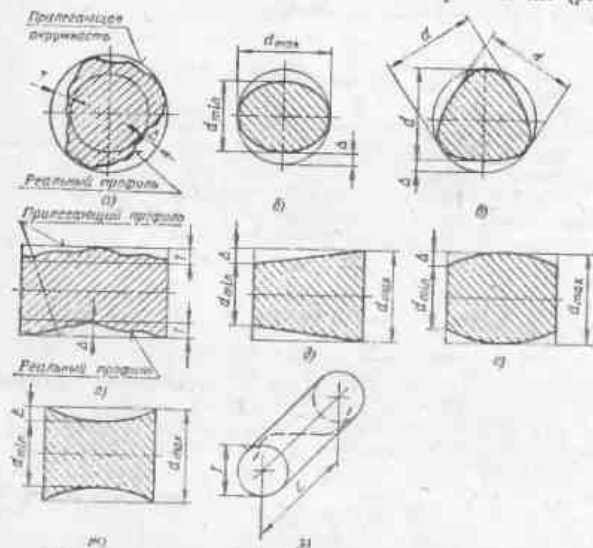


Рис. 2. Отклонения формы цилиндрических поверхностей в поперечном и продольном сечениях и отклонение от прямолинейности оси в пространстве

**Бочкообразность** — отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения (рис. 2, е).

**Седлообразность** — отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры уменьшаются от краев к середине сечения (рис. 2, ж).

Количественно конусообразность, бочкообразность и седлообразность оцениваются так же, как и отклонение профиля продольного сечения. В ранее разработанной технической документации конусообразность, бочкообразность и седлообразность оценивались разностью между наибольшим и наименьшим диаметрами продольного сечения, т. е. удвоенным значением отклонения профиля продольного сечения.

**Отклонение от прямолинейности оси (или линии) в пространстве** — это минимальное значение диаметра цилиндра, внутри которого располагается реальная ось поверхности вращения (линия) в пределах нормируемого участка (рис. 2, з)\*.

\* Термин «изогнутость» замесен на отклонение от прямолинейности оси (или линии) в пространстве.

### 3. ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Отклонением от прямолинейности в плоскости** называют наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реального профиля до прилегающей прямой в пределах нормируемого участка. Поле допуска прямолинейности в плоскости — это область на плоскости, ограниченная двумя параллель-

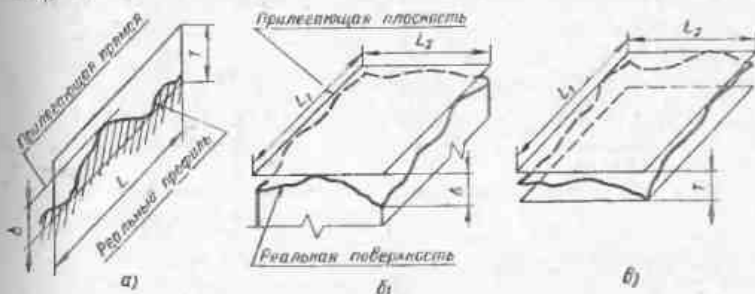


Рис. 3. Отклонения формы плоских поверхностей

ными прямыми, отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску прямолинейности  $T$  (рис. 3, а).

**Отклонение от плоскостности** — наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка (рис. 3, б). Поле допуска плоскостности — область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску плоскостности  $T$  (рис. 3, в).

Частными видами отклонений от плоскостности являются *выпуклость* и *вогнутость*.

### 4. ОТКЛОНЕНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Отклонением расположения поверхности или профиля** называют отклонение реального расположения поверхности (профиля) от его номинального расположения. Количественно отклонения расположения оцениваются в соответствии с определениями, приведенными ниже. При оценке отклонений расположения отклонения формы рассматриваемых поверхностей (профилей) и базовых элементов должны исключаться из рассмотрения. При этом реальные поверхности (профили) заменяются прилегающими, а за оси, плоскости симметрии и центры реальных поверхностей (профилей) принимают оси, плоскости симметрии и центры прилегающих элементов.

Из-за многообразия видов расположения поверхностей и соответственно видов отклонений расположения рассмотрим только некоторые примеры.

**Отклонение от параллельности плоскостей** определяется разностью  $\Delta$  наибольшего  $a$  и наименьшего  $b$  расстояний между плоскостями в пределах нормируемого участка (рис. 4, а). Поле допуска на-



параллельности плоскостей называют область в пространстве, ограниченную двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстоянии, равное допуску параллельности  $T$ , и параллельными базовой плоскости (рис. 4, б).

Отклонение от перпендикулярности плоскостей показано на рис. 4, а.

Отклонение от параллельности осей (или прямых) в пространстве —

геометрическая сумма  $\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}$  отклонений от параллельности проекций осей (прямых) в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Одна из этих плоскостей является общей плоскостью осей, т. е. плоскостью, проходящей через одну (базовую) ось и точку другой оси (рис. 5, а). Отклонение от параллельности осей (или прямых) в общей плоскости обозначено через  $\Delta_x = a - b$ . Перекос осей (или прямых) обозначен через  $\Delta_y$ .

Поле допуска параллельности осей (или прямых) в пространстве — это область в пространстве, ограниченная прямоугольным параллелепипедом, стороны сечения которого равны соответственно допуску параллельности осей (прямых) в общей плоскости  $T_x$  и допуску перекося осей (прямых)  $T_y$ , а боковые грани параллельны базовой оси и соответственно параллельны и перпендикулярны общей плоскости осей (рис. 5, б). Поле допуска может быть представлено также цилиндром, диаметр которого равен допуску параллельности  $T$ , а ось параллельна базовой оси.

Отклонение от соосности относительно общей оси — это наибольшее расстояние ( $\Delta_1$ ;  $\Delta_2$ ) между общей осью двух или нескольких поверхностей вращения и осью рассматриваемой поверхности вращения на длине нормируемого участка (рис. 6, а). Допуск соосности в диаметральном выражении равен удвоенному допустимому значению отклонения от соосности и в радиусном выражении — наибольшему допустимому значению отклонения. Поле допуска соосности является частью пространства, ограниченная цилиндром, диаметр которого равен допуску соосности в диаметральном выражении  $T$  или удвоенному допуску соосности в радиусном выражении  $R$ , а ось совпадает с базовой осью (рис. 6, б).

Двойная количественная оценка соосности (в диаметральном и радиусном выражениях) принята по рекомендации ИСО также для симметричности и пересечения осей. Ранее эти отклонения определялись только в радиусном выражении.

Отклонение от симметричности относительно базовой плоскости — наибольшее расстояние  $\Delta$  между базовой плоскостью симметрии рассматриваемой поверхности и реальной плоскостью симметрии в пределах нормируемого участка (рис. 7).

Отклонение от пересечения осей — меньшее расстояние  $\Delta$  между осями, номинально пересекающимися (рис. 8, а). Поле допуска пересечения определяется частью пространства, ограниченного двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску пересечения в диаметральном выражении  $T$  или удвоенному допуску пересечения в радиусном выражении  $T/2$ , и расположенными симметрично относительно базовой оси (рис. 8, б).

Вместо термина «смещение оси (или плоскости симметрии) от номинального расположения» введены краткие термины «Позиционное отклонение», «позиционный допуск».

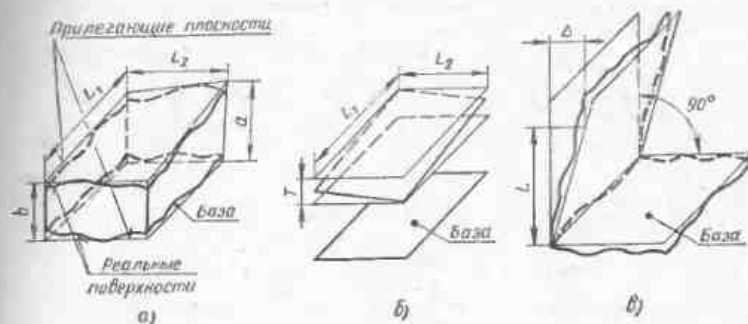


Рис. 4. Отклонения расположения поверхностей

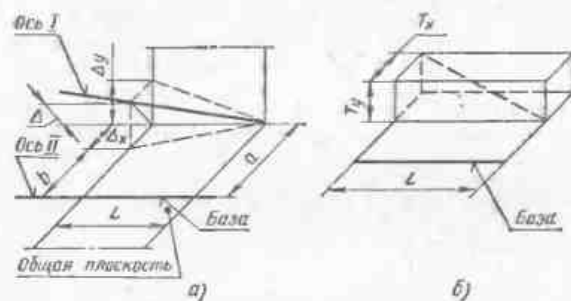


Рис. 5. Отклонения от параллельности и перекося осей

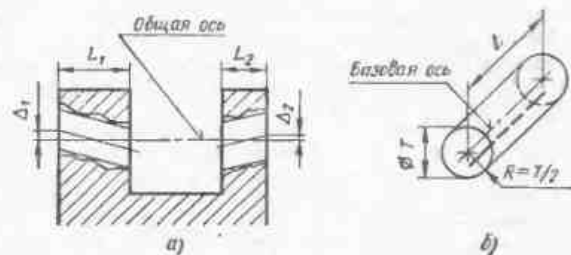


Рис. 6. Отклонение от соосности

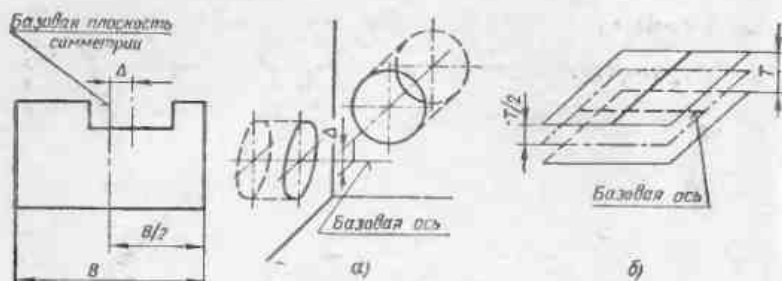


Рис. 7. Отклонение от симметричности

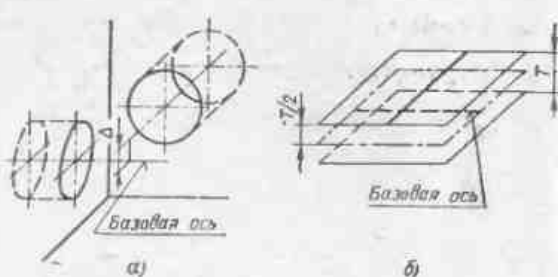


Рис. 8. Отклонение от пересечения осей

Отклонения формы и погрешности в расположении поверхностей вызывают добавочные ускорения подвижных деталей и снижают точность кинематических пар. Чем меньше начальные значения этих отклонений, тем конструкция более долговечна. Например, при начальной овальности цилиндров двух двигателей автомобилей, равной 21 и 45 мкм, износ после пробега 22 000 км составил соответственно 31 и 60 мкм, т. е. был пропорционален овальности. Уменьшение конусообразности, овальности и седлообразности шеек коленчатых валов двигателей указанных автомобилей с 0,01 до 0,006 мм повысило срок службы вкладышей подшипников в 2,5—4 раза без появления очагов растрескивания и выкрашивания их рабочих поверхностей.

## 5. СУММАРНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Радиальное биение** поверхности вращения определяется суммарным отклонением от цилиндричности поверхности и отклонением от соосности относительно базовой оси; оно равно разности  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении плоскостью, перпендикулярной базовой оси (рис. 9, а).

**Торцовое биение** (полное) определяется суммарным отклонением торцевой поверхности от плоскостности и отклонением этой поверхности от перпендикулярности относительно базовой оси; оно равно разности  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси. Торцовое биение иногда определяют на заданном диаметре  $d$  (рис. 9, б).

Отклонение формы заданного профиля определяется как наибольшее отклонение  $\Delta$  точек реального профиля от номинального профиля, определяемое по нормали к номинальному профилю в пределах нормируемого участка (рис. 9, в).

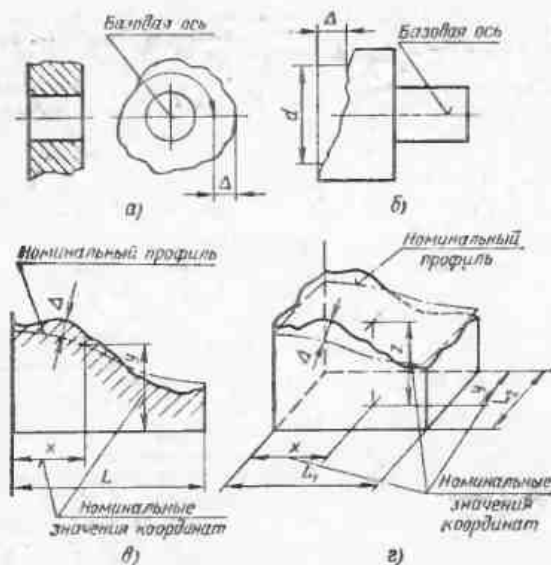


Рис. 9. Суммарные отклонения формы и расположения

Отклонение формы заданной поверхности есть наибольшее отклонение  $\Delta$  точек реальной поверхности от номинальной поверхности, определяемое по нормали к номинальной поверхности в пределах нормируемого участка (рис. 9, в).

## 6. ЗАВИСИМЫЕ И НЕЗАВИСИМЫЙ ДОПУСКИ РАСПОЛОЖЕНИЯ

**Зависимым** называют переменный допуск расположения, минимальное значение которого указывается в чертеже и которое допускается превышать на величину, соответствующую отклонению действительного размера поверхности детали от наибольшего предельного размера вала или наименьшего предельного размера отверстия. Зависимые допуски расположения назначаются главным образом в тех случаях, когда необходимо обеспечить собираемость деталей, сопрягающихся одновременно по нескольким поверхностям с заданными зазорами или натягами.

Пример. Для отверстий  $\varnothing 15+0,043$  и  $\varnothing 25+0,082$  детали, показанной на рис. 10, назначен зависимый допуск соосности, равный 0,06 мм. Указанное значение допустимого отклонения от соосности является наименьшим и относится к деталям, у которых диаметры отверстий имеют наименьшие предельные размеры, а диаметры валов — наибольшие предельные размеры. С увеличением диаметров отверстий в соединении будут образовываться зазоры. Отклонение от соосности  $\Delta$  определяется разностью радиальных расстояний от осей отверстий. Отклонение от соосности  $\Delta$  связано с суммарным зазором  $S_1 + S_2$  и облик ступеней зависимости

$$\Delta = \frac{S_1 + S_2}{2}$$

При наибольших предельных диаметрах отверстий (15,043 и 25,052 мм) может быть допущено дополнительное отклонение от соосности, равное  $\Delta = \frac{1}{2} (0,043 + 0,052) = 0,047$  мм. Максимальное отклонение от соосности в этом случае составит  $\Delta_{\text{max}} = 0,06 + 0,047 = 0,107$  мм. Зазоры и отклонение от соосности могут быть еще большими вследствие возможного изменения размеров ступенчатого вала, соединяемого с отверстием. Соборность отверстия и вала при этом не нарушается.

Контроль зависимых допусков наиболее часто осуществляют комплексными калибрами, являющимися прототипом сопрягаемой детали.

Эти калибры всегда проходные, что гарантирует беспригодную сборку изделий.

Независимым называют допуск расположения (или формы), величина которого постоянна для всех деталей, изготавливаемых по данному чертежу, и не зависит от действительных размеров рассматриваемых поверхностей (например, когда необходимо выдерживать соосность посадочных гнезд под подшипники качения или ограничить колебание межосевых расстояний в корпусах редукторов и т. п.).

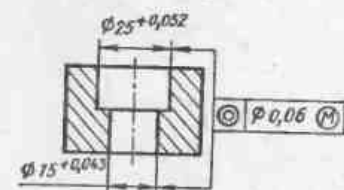


Рис. 10. Пример зависимого допуска

Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей (болтов, винтов, шпилек и др.) установлены СТ СЭВ 637—77. Указанные допуски должны устанавливаться одним из двух способов: 1) позиционными допусками осей отверстий и 2) предельными отклонениями размеров, координирующих оси отверстий. Под позиционным допуском понимают наибольшее допускаемое значение расстояния между реальным расположением оси отверстия и ее номинальным расположением. Этот способ предпочтителен для сборочной группы при числе деталей более двух. В СТ СЭВ 637—77 приведены указания по выбору допусков расположения осей отверстий для крепежных деталей в зависимости от типа соединений и характера расположения отверстий.

## 7. ОБОЗНАЧЕНИЕ НА ЧЕРТЕЖАХ ДОПУСКОВ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ (по СТ СЭВ 368—76, ГОСТ 2.308—79)

Вид допуска формы и расположения должен обозначаться на чертеже знаком (символом) согласно табл. 1. Знак и числовое значение допуска вписывают в рамку, расположенную преимущественно горизонтально. На первом месте указывают знак, на втором — числовое значение допуска и на третьем — базу, если она задана, относительно которой определяют допуск (рис. 11, а). Рамку соединяют при помощи линий с контурной линией изделия или с выносной линией (рис. 11, б).

В случае недостатка места на чертеже стрелку размерной линии можно заменить линией, проведенной непосредственно от рамки (рис. 11, в).

Если допуск относится к поверхности, например к поверхности резьбы, то рамку соединяют с поверхностью на некотором расстоянии от размерной линии (рис. 11, г). Если допуск относится к оси или плоскости симметрии, например к оси резьбы, то соединительная линия от

### 1. Обозначение видов допусков

Группа допусков	Вид допуска	Знак
Допуски формы	Допуск прямолинейности	
	Допуск плоскостности	
	Допуск круглости	
	Допуск цилиндричности	
Допуски расположения	Допуск профиля продольного сечения	
	Допуск параллельности	
	Допуск перпендикулярности	
	Допуск наклона	
	Допуск соосности*	
	Допуск симметричности*	
	Позиционный допуск*	
Суммарные допуски формы в расположении	Допуск пересечения осей	
	Допуск радиального бienia	
	Допуск торцового бienia	
Допуск бienia в заданном направлении	Допуск полного радиального бienia	
	Допуск полного торцового бienia	
Допуск формы заданного профиля	Допуск формы заданной поверхности	

\* Обозначения по ранее действовавшему стандарту соответственно



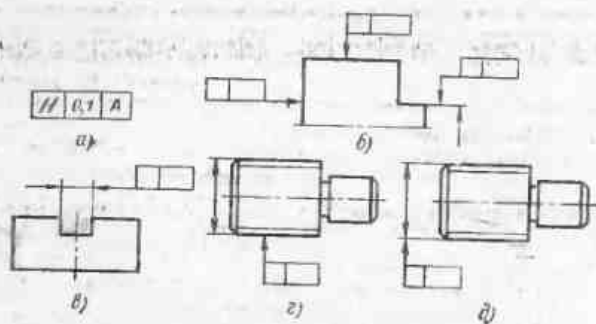


Рис. 11. Схемы указания на чертежах допусков формы и расположения поверхностей

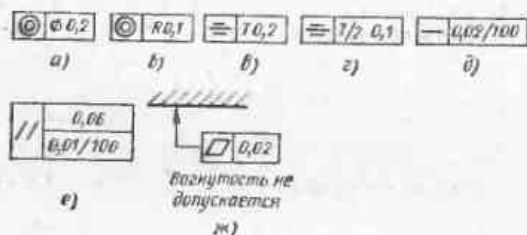


Рис. 12. Обозначения допусков формы и расположения

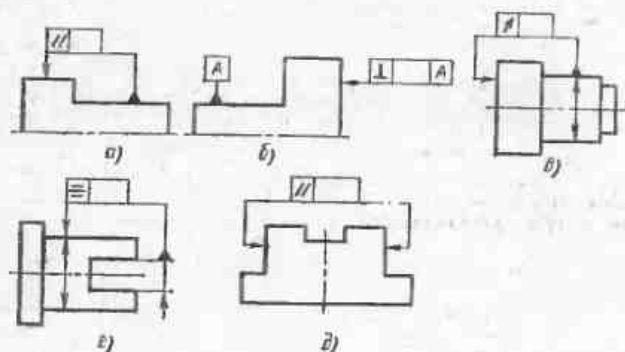


Рис. 13. Обозначения баз

Рис. 14. Обозначения суммарных допусков

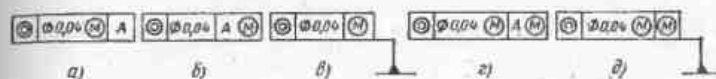


Рис. 15. Обозначение зависимых допусков

рамки должна быть продолжением размерной линии (рис. 11, д). Над размерной линией величина размера может быть не проставлена, если она указана где-либо в другом месте. Размерную линию без размера следует рассматривать как составную часть этого условного обозначения.

Ниже показаны примеры обозначения допуска соосности, когда он дан на диаметр (рис. 12, а) и когда он указан на радиус (рис. 12, б); когда поле допуска симметричности дано в диаметральном выражении (рис. 12, в) и когда оно дано в радиусном выражении (рис. 12, г). На рис. 12, д дано обозначение допуска, отнесенного к ограниченной длине, а на рис. 12, е — когда он задан по всей длине и одновременно на определенном нормируемом участке (второй допуск пишется под первым). В необходимых случаях допускается давать надписи, содержащие дополнительные данные: например, к знаку и величине допуска плоскостности можно добавить надпись (над рамкой или под ней) (рис. 12, ж).

Базы обозначают зачерненным треугольником, который соединяют линией с рамкой допуска (рис. 13, а). Чаще базу обозначают буквой и соединяют ее с треугольником (рис. 13, б). Если базой является ось или плоскость симметрии, то треугольник располагают в конце размерной линии соответствующего размера (диаметра, ширины) поверхности (рис. 13, в), при этом треугольник может заменить размерную стрелку (рис. 13, г). Если назначают допуск расположения для двух поверхностей, из которых ни одна не является базой, то выносные линии заканчиваются стрелками (рис. 13, д).

Суммарные допуски параллельности и плоскостности обозначают по рис. 14, а, перпендикулярности и плоскостности — по рис. 14, б.

Если допуски формы и расположения ограничиваются полем допуска размера, то их не указывают. Допуски формы указывают только в тех случаях, когда по функциональным или технологическим причинам они должны быть меньше допусков размера или неуказанных допусков по СТ СЭВ 302—76.

Если допуск расположения или формы не указан как зависимый, то его считают независимым. Зависимые допуски расположения и формы обозначают условным знаком М (в кружочке), который помещают: 1) после числового значения поверхности (рис. 15, а); 2) после буквенного обозначения базы (рис. 15, б); или при отсутствии буквенного обозначения базы — в третьей клетке рамки (рис. 15, в). Если зависимый допуск связан с действительными размерами базовой плоскости, знак М (в кружочке) помещают и после числового значения допуска и после буквенного обозначения базы (рис. 15, г), а при отсутствии буквенного указания базы — в третьей клетке (рис. 15, д), если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемого и базового элементов.

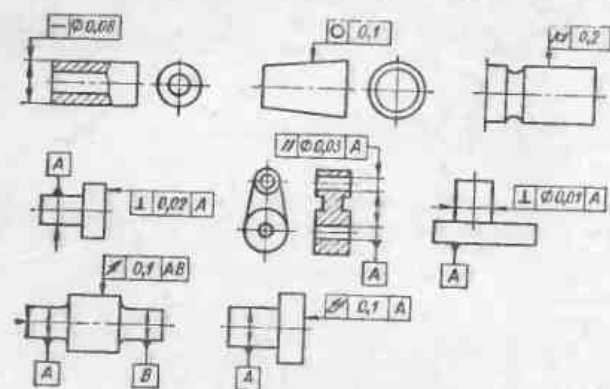


Рис. 16. Примеры обозначения допусков формы и расположения поверхностей на чертежах

В ранее выпущенной документации, если зависимые допуски расположения составляли большинство, независимые допуски обозначались знаком S (в кружочке).

Примеры указания на чертежах предельных отклонений формы и расположения поверхностей приведены на рис. 16.

## 8. ЧИСЛОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ДОПУСКОВ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ (по СТ СЭВ 636—77)

Установлено 16 степеней точности, с 1 по 16 в порядке уменьшения точности. Числовые значения допусков формы и расположения приведены в табл. 2, 3. Таблицы построены так, что значения допусков в пределах одной степени точности изменяются по 10-му ряду предпочтительных чисел с коэффициентом возрастания  $\psi = 1,25$  в зависимости от интервала размеров, а от одной степени точности к другой — по 5-му ряду с  $\psi = 1,6$ .

В зависимости от соотношения между допуском размера и допусками формы и расположения устанавливаются следующие уровни относительной геометрической точности:

А — нормальная относительная геометрическая точность (допуски формы и расположения в среднем составляют 60% от допуска размера);

В — повышенная относительная геометрическая точность (допуски формы и расположения в среднем составляют 40% от допуска размера);

С — высокая относительная геометрическая точность (допуски формы и расположения в среднем составляют 25% от допуска размера).

Для цилиндричности, круглости и профиля продольного сечения относительная геометрическая точность для А, В и С составляет соответственно 30, 20 и 12% от допуска размера. Это вызвано тем, что допуск указанных отклонений формы ограничивает отклонение радиуса, а допуск размера относится к диаметру поверхности.

Допуски формы и расположения поверхностей, не предусмотренные табл. 1, указываются текстом в технических условиях.

2. Допуски параллельности, перпендикулярности, наклона, торцового бienia, полного торцового бienia, плоскостности и прямолинейности

Отклонения	Интервалы размеров, мм										
	До 10	Св. 10 до 16	Св. 16 до 25	Св. 25 до 40	Св. 40 до 63	Св. 63 до 100	Св. 100 до 160	Св. 160 до 250			
параллельности, перпендикулярности, наклона, торцового бienia и полного торцового бienia	1	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,63	0,80	
	2	0,12	0,18	0,25	0,32	0,40	0,50	0,63	0,80	1,00	
плоскостности и прямолинейности	1	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,63	0,80	
	2	0,12	0,18	0,25	0,32	0,40	0,50	0,63	0,80	1,00	
Степень точности	1	Допуски, мкм									
	2	Допуски, мм									
3	1	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	
4	2	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	
5	3	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2	2,5	3	4	
6	4	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	
7	5	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	
8	6	1,5	3	4	5	6	8	10	16	20	
9	7	4	5	6	8	10	12	16	20	30	
10	8	6	8	10	12	16	20	25	30	40	
11	9	10	12	16	20	25	30	40	50	60	
12	10	16	20	25	30	40	50	60	80	100	
	11	25	30	40	50	60	80	100	120	160	
	12	40	50	60	80	100	120	160	200	250	
	13	60	80	100	120	160	200	250	300	400	
—	13	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	
	14	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	
	14	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	
	15	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	
	16	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	3	

## 40 - ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХ.

3. Допуски соосности, симметричности и пересечения осей в диаметральной соосности, симметричности и пересечения осей в радиусном выражении, допуски

Отклонения				
соосности, симметричности и пересечения осей в диаметральной выражении, радиального биения и полного радиального биения	соосности, симметричности и пересечения осей в радиусном выражении	цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения	1	2
			Интервалы размеров, мм	
До 3	Св. 3 до 10	Св. 3 до 10	0,3	0,6
			0,4	0,6
» 10 » 18	» 10 » 18	» 10 » 18	0,5	0,6
			0,6	1
» 18 » 30	» 18 » 30	» 18 » 30	0,6	1
			0,8	1,2
» 30 » 50	» 30 » 50	» 30 » 50	1	1,6
			1,2	2
» 50 » 120	» 50 » 120	» 50 » 120	1,6	2,5
			2	3
» 120 » 250	» 120 » 250	» 120 » 250	2,5	4
			3	5
» 250 » 400	» 250 » 400	» 250 » 400		
» 400 » 630	» 400 » 630	» 400 » 630		
» 630 » 1000	» 630 » 1000	» 630 » 1000		

## ЧИСЛОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ДОПУСКОВ

выражении, допуски радиального биения и полного радиального биения, допуски цилиндричности, круглости и профиля продольного сечения

Степени точности															
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Допуски															
мм												мм			
0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	0,08	0,12	0,2	0,3		
1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4		
1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5		
1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6		
2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8		
2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1		
3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2		
4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6		
5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2		
6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5		
8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3		

# ШЕРОХОВАТОСТЬ И ВОЛНИСТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

## 1. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Параметры шероховатости поверхности и их числовые значения регламентированы СТ СЭВ 638—77 и ГОСТ 2789—73.

**Шероховатость поверхности** — совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине  $l$ . Неровности на обработанной поверхности образуются в результате пластической деформации поверхностного слоя материала детали, копирования неровностей режущих кромок инструмента и трения его о деталь, вырывания с поверхности частиц материала и в результате других причин.

Профиль поверхности (профилограмма) показан на рис. 1. В основу нормирования и количественной оценки шероховатости поверхности положена система средней линии профиля  $m$  — система  $M$ . Средняя линия профиля — базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально.

Базовая длина  $l$  — длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности, и для количественного определения ее параметров. Числовые значения базовой длины выбирают из ряда: (0,01); (0,03); 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; (25) мм\*.

Нормирование и количественная оценка шероховатости поверхности производится с помощью высотных параметров  $Ra$ ,  $Rz$  и  $Rmax$ , шаговых параметров  $Sm$  и  $S$  и параметра формы  $tp$  — относительной опорной длины профиля.

Среднее арифметическое отклонение профиля  $Ra$  — среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля  $y$  от средней линии в пределах базовой длины:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где  $l$  — базовая длина;  $n$  — число суммируемых отклонений профиля  $y_i$ .

Параметр  $Ra$  является предпочтительным.

Высота неровностей профиля по десяти точкам  $Rz$  — сумма средних арифметических абсолютных отклонений точек пяти наибольших

\* Значения, указанные в скобках, привнесают в особых случаях.

минимумов и пяти наибольших максимумов профиля в пределах базовой длины

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |H \max_i| + \sum_{i=1}^5 |H \min_i|}{5},$$

где  $H \max_i$  — высота  $i$ -го наибольшего выступа профиля;  $H \min_i$  — глубина  $i$ -й наибольшей впадины профиля.

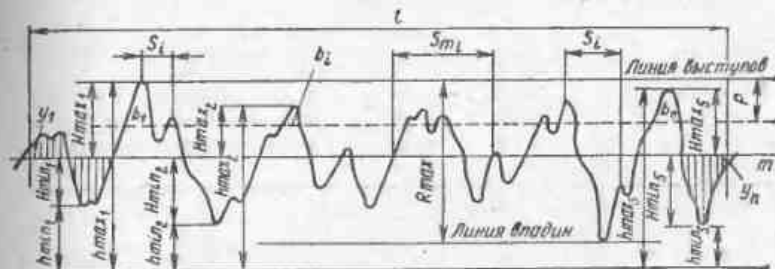


Рис. 1. Профилограмма шероховатости поверхности

Для средней линии, имеющей форму отрезка прямой,

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 h_{max_i} - \sum_{i=1}^5 h_{min_i}}{5},$$

где  $h \max_i$  — расстояние от высшей точки  $i$ -го наибольшего выступа до линии, параллельной средней и не пересекающей профиль;  $h \min_i$  — расстояние от низшей точки  $i$ -й наибольшей впадины до линии, параллельной средней и не пересекающей профиль.

Наибольшая высота неровностей профиля  $R \max$  — расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины:

$$R \max = H \max + H \min,$$

где  $H \max$  — высота наибольшего выступа и  $H \min$  — глубина наибольшей впадины в пределах базовой длины.

Средний шаг неровностей профиля  $Sm$  — среднее арифметическое значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины:

$$Sm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Sm_i,$$

где  $n$  — число шагов в пределах базовой длины  $l$ ;  $Sm_i$  — шаг неровностей профиля, равный длине отрезка средней линии, пересекающего

## 1. Числовые значения параметров

$R_a$ , мкм	<u>100</u> ; 10,0; 1,00; 0,100;	80; 8,0; 0,80; 0,080;	63; 6,3; 0,63; 0,063;	50; 5,0; 0,50; 0,050;	40; 4,0; 0,40; 0,040;
	1000; 100; 10,0; 1,00; 0,100;	800; 80; 8,0; 0,80; 0,080;	630; 63; 6,3; 0,63; 0,063;	500; 50; 5,0; 0,50; 0,050;	400; 40; 4,0; 0,40; 0,040;
$R_z, R_{max}$ , мкм	<u>100</u> ; 10,0; 1,00; 0,100;	80; 8,0; 0,80; 0,080;	63; 6,3; 0,63; 0,063;	50; 5,0; 0,50; 0,050;	40; 4,0; 0,40; 0,040;
	1000; 100; 10,0; 1,00; 0,100;	800; 80; 8,0; 0,80; 0,080;	630; 63; 6,3; 0,63; 0,063;	500; 50; 5,0; 0,50; 0,050;	400; 40; 4,0; 0,40; 0,040;
$S_m, S$ , мм	<u>10,0</u> ; 1,00; 0,100; 0,010;	8,0; 0,80; 0,080; 0,008;	6,3; 0,63; 0,063; 0,006;	5,0; 0,50; 0,050; 0,005;	4,0; 0,40; 0,040; 0,004;
	320; 32; 3,2; 0,32; 0,032;	250; 25; 2,5; 0,25; 0,025;	200; 20; 2,0; 0,20; 0,020;	160; 16,0; 1,60; 0,160; 0,016;	125; 12,5; 1,25; 0,125; 0,0125;
$R_z, R_{max}$ , мкм	<u>1600</u> ; 160; 16,0; 1,60; 0,160;	1250; 125; 12,5; 1,25; 0,125;	1000; 100; 10,0; 1,00; 0,100;	800; 80; 8,0; 0,80; 0,080;	630; 63; 6,3; 0,63; 0,063;
	320; 32; 3,2; 0,32; 0,032;	250; 25; 2,5; 0,25; 0,025;	200; 20; 2,0; 0,20; 0,020;	160; 16,0; 1,60; 0,160;	125; 12,5; 1,25; 0,125;
$S_m, S$ , мм	<u>3,2</u> ; 0,32; 0,032; 0,003;	2,5; 0,25; 0,025; 0,002;	2,0; 0,20; 0,020;	1,60; 0,160; 0,0160;	1,25; 0,125; 0,0125;
	320; 32; 3,2; 0,32; 0,032;	250; 25; 2,5; 0,25; 0,025;	200; 20; 2,0; 0,20; 0,020;	160; 16,0; 1,60; 0,160;	125; 12,5; 1,25; 0,125;

Примечание. Подчеркнуты предпочтительные значения параметров  $R_a$ ,  $R_z$  и  $R_{max}$ .

профиль в трех соседних точках и ограниченного двумя крайними точками.

Средний шаг неровностей по вершинам  $S$  — среднее значение шага неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

где  $n$  — число шагов неровностей по вершинам в пределах базовой длины  $l$ ;  $S_i$  — шаг неровностей профиля по вершинам, равный длине отрезка средней линии между проекциями на нее двух наивысших точек соседних выступов профиля.

Числовые значения параметров шероховатости  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$ ,  $S_m$  и  $S$  приведены в табл. 1. Эти значения относятся к сечению, нормальному к номинальной поверхности.

Рекомендуемые соотношения параметров  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  и базовой длины  $l$  даны в табл. 2.

2. Соотношение значений параметров  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  и базовой длины  $l$ 

$R_a$ , мкм		$R_z, R_{max}$ , мкм		$l$ , мм
Св. 0,025	До 0,025	Св. 0,10	До 0,10	0,08
> 0,4	> 0,4	> 1,6	> 1,6	0,25
> 3,2	> 3,2	> 12,5	> 12,5	0,8
> 12,5	> 12,5	> 50	> 50	2,5
	> 100	> 400	> 400	8

Относительная опорная длина профиля  $tp$  — отношение суммы длин отрезков  $b_i$  в пределах базовой длины, отсекаемых на заданном уровне сечения  $p$  в материале выступов профиля линией, эквидистантной средней линии, к базовой длине  $l$  в процентах:

$$tp = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i,$$

где  $n$  — число отрезков  $b_i$ .

Уровень сечения профиля  $p$  отсчитывается от линии выступов. Значение  $p$  выбирается из ряда: 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90% от  $R_{max}$ .

Относительная опорная длина профиля  $tp$  может быть равна 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90%.

Кроме рассмотренных параметров, СТ СЭВ 1156—78 «Шероховатость поверхности. Термины и определения» (вводится в действие с января 1981 г.) установлены дополнительные высотные параметры  $R_q$  и  $R_{j1}$  и параметры формы  $\Delta q$  и  $\Delta a$ .



Среднее квадратическое отклонение профиля  $Rq$  — среднее квадратическое значение отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx},$$

или приближенно

$$Rq \approx \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y^2(x_i)},$$

где  $n$  — число точек профиля на базовой длине  $l$ .

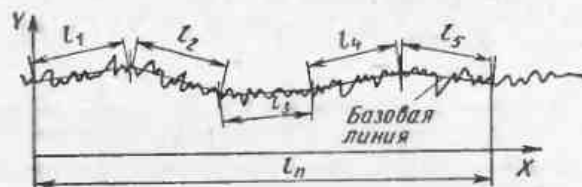


Рис. 2. Профилограмма шероховатости поверхности на длине оценки  $l_n$ , равной пяти базовым длинам ( $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5$ )

Среднее значение высотного параметра профиля поверхности  $\bar{R}l_n$  — среднее значение параметра профиля поверхности, определенное на всех базовых длинах, составляющих длину оценки:

$$\bar{R}l_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Rl_i,$$

где  $n$  — число базовых длин  $l$  в длине оценки  $l_n$ ;  $Rl_i$  — значение параметра, определенное на  $i$ -й базовой длине.

Например, среднее значение наибольшей высоты неровностей профиля  $Rm$  на длине оценки  $l_n$ , равной пяти базовым длинам, будет определяться как

$$\bar{R}m_5 = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Rm_i,$$

где  $Rm_i$  — значение параметра, определенное на каждой базовой длине. Профилограмма, полученная при измерении шероховатости поверхности на длине оценки  $l_n$ , равной пяти базовым длинам ( $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5$ ), показана на рис. 3.2.

Средний квадратический наклон профиля  $\Delta q$  — среднее квадратическое значений тангенса угла наклона профиля в пределах базовой длины:

$$\Delta q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx},$$

или приближенно

$$\Delta q \approx \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)_i^2},$$

где  $\frac{dy}{dx}$  — тангенс угла наклона в точке профиля.

Угол наклона профиля определяется как угол наклона касательной к его боковой стороне, проведенной через рассматриваемую точку.

Средний арифметический наклон профиля  $\Delta a$  — среднее арифметическое значений тангенса угла наклона профиля в пределах базовой длины:

$$\Delta a = \frac{1}{l} \int_0^l \left| \frac{dy}{dx} \right| dx,$$

или приближенно

$$\Delta a \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\Delta y}{\Delta x} \right|_i.$$

По СТ СЭВ 1156—78 высота выступа обозначается  $y_p$ , а глубина впадины  $y_v$ . Соответственно выражение, например, для  $Rz$  записано в виде

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pm_i}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vm_i}|}{5},$$

где  $y_{pm_i}$  — высота  $i$ -го наибольшего выступа;  $y_{vm_i}$  — глубина  $i$ -й наибольшей впадины профиля.

Изменены также некоторые другие обозначения.

**Влияние шероховатости поверхности на эксплуатационные показатели изделий.** Контактная жесткость узлов машины зависит от высоты неровностей поверхностей, шага неровностей, опорной длины профиля, взаимного расположения следов обработки и других факторов. Например, при перпендикулярном расположении следов обработки жесткость стыка максимальна. Величина пластической деформации при контактировании уменьшается при увеличении относительной опорной длины профиля  $l_p$  и при уменьшении  $R_{max}$ .

Герметичность соединений зависит от фактической площади контакта, которая определяется шероховатостью соединяемых поверхностей. Герметичность цилиндрических соединений увеличивается при кольцеобразном расположении следов обработки.

Характер трения в подвижных соединениях и их износостойкость в значительной степени определяются шероховатостью трущихся поверхностей. Большое влияние на трение и износ оказывает направление неровностей. При хорошей смазке и при малом давлении наименьший износ обычно наблюдается, если следы обработки обеих трущихся поверхностей направлены параллельно направлению движения. При больших давлениях меньший износ наблюдается, если следы обработки трущихся поверхностей пересекаются друг с другом. В этом случае снижается возможность появления задиров.

Шероховатость поверхности оказывает значительное влияние на усталостную прочность деталей, изготовленных из высокопрочных легированных и других сталей и работающих в условиях циклических нагрузок. Для повышения качественных показателей поверхностей применяют метод алмазного выглаживания. После алмазного выглаживания точных или шлифованных деталей их усталостная прочность повышается на 25—40%. При уменьшении высоты неровностей впадин нарезанной или шлифованной резьбы болтов с  $Ra = 1,0$  мкм до  $Ra = 0,1$  мкм предельная амплитуда цикла напряжений увеличивается на 20—50%, причем в большей степени у болтов из высокопрочных легированных сталей и в меньшей степени у болтов из низколегированных и углеродистых сталей.

Высота неровностей поверхности оказывает значительное влияние на коррозионную стойкость: с уменьшением неровностей коррозионная стойкость возрастает.

Характер движения жидкостей в трубопроводах и гидравлическое сопротивление трубопроводов зависят от шероховатости их стенок. Для уменьшения гидравлического сопротивления необходимо уменьшать высоту неровностей и увеличивать шаг неровностей.

Шероховатость поверхности влияет на качество покрытий. Параметры неровностей относительно тонких покрытий зависят от параметров неровностей основания. При нанесении покрытий на основание с очень малой высотой неровностей возможно уменьшение прочности сцепления нанесенного покрытия с основанием и отслаивание покрытия. Для повышения качества покрытий необходимо нормировать шпиговые и высотные параметры шероховатости.

Шероховатость поверхности также влияет на электрическое сопротивление контактов релейных устройств, затухание электрической энергии в волноводах, на качественные показатели электронных интегральных схем, на характеристики оптических элементов и т. д.

В процессе обработки неровности поверхности изменяются по размерам и даже по форме, приобретая направление в сторону движения детали. Получающаяся после обработки (при трении скольжения, трении качения и трении с проскальзыванием) шероховатость, обеспечивающая минимальный износ и сохраняющаяся в процессе длительной эксплуатации машины, называется оптимальной. *Оптимальная шероховатость* характеризуется высотой, шагом и формой неровностей (радиусом впадин, радиусом выступов, углом наклона неровностей в направлении движения и др.). Параметры оптимальной шероховатости зависят от качества смазки и других условий работы деталей, их конструкции и материалов.

Изменение начальной шероховатости и приближение параметров неровностей поверхностей к оптимальным можно проследить на примере трущихся поверхностей. Кривые, характеризующие износ тру-

щихся деталей, показаны на рис. 3. Если начальная шероховатость значительно отличается от оптимальной, то износ деталей наибольший. При начальной шероховатости, близкой к оптимальной, износ наименьший (рис. 3, а).

При прочих равных условиях обеспечить заданную продолжительность работы деталей, узла или механизма можно повышением износостойкости деталей (что видно из сравнения величин  $t_2$  и  $t_1$  на рис. 3, б) или увеличением коэффициента запаса на износ  $K_T$  (увеличением слоя металла  $U$ , на величину которого допускается износ деталей), что видно из сравнения величин  $t_2$  с  $t_1$  и  $t_4$  с  $t_2$ .

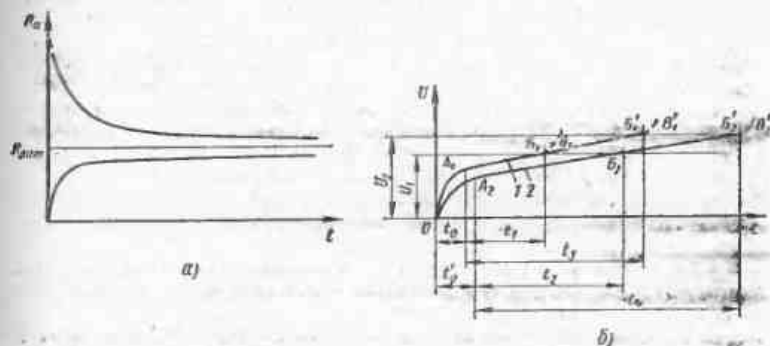


Рис. 3. Вид кривых, характеризующих износ трущихся деталей: а — при разной начальной шероховатости; б — при разной износостойкости (1 — при повышенной, 2 — при повышенной)

Следовательно, установление оптимальных параметров шероховатости поверхности при нормировании позволяет уменьшить износ деталей при эксплуатации.

Выбор параметров шероховатости поверхности и их числовых значений. Требования к шероховатости поверхности деталей должны устанавливаться исходя из функционального назначения нормируемой поверхности и конструктивных особенностей детали и изделия. Требования, установленные СТ СЭВ 638—77, распространяются на все виды материалов, кроме тех, при обработке которых получаются ворсистые поверхности. При установлении требований к шероховатости поверхности дефекты поверхности (царапины, раковины, заборны и т. д.) не учитываются.

При выборе высотных параметров следует учитывать, что параметр  $Ra$  является предпочтительным и что с помощью этого параметра можно получить более полную оценку шероховатости поверхности, так как при его определении измеряются и суммируются расстояния большего числа точек действительного профиля до его средней линии, тогда как при определении  $Rz$  измеряются только расстояния между пятью вершинами и пятью впадинами неровностей. Числовые значения параметров  $Ra$ ,  $Rz$  и  $R$  max следует выбирать из ряда предпочтительных значений\*. Применение предпочтительных значений пара-

\* Предпочтительные значения параметров применяют в международных стандартах (стандарты ИСО 2632 и рекомендации ИСО R1302—70) и ряде национальных стандартах.

метров позволяет упростить контроль шероховатости поверхности, так как образцы сравнения шероховатости поверхности изготавливают в соответствии с этими значениями. При нормировании шероховатости поверхности по  $Ra$  следует иметь в виду, что связь между эксплуатационными показателями изделий и этим параметром неоднозначна, так как при различных формах неровностей значения  $Ra$  могут быть одинаковыми. Например, профили неровностей на рис. 4 имеют разную форму, но числовые значения  $Ra$  профилей одинаковые.

Для нормирования формы неровностей необходимо наряду с высотными параметрами регламентировать шаговые параметры  $S_m$  и  $S$  и параметр формы  $fp$ .



Рис. 4. Профили неровностей поверхности с разной формой, но одинаковыми значениями  $Ra$

При выборе числовых значений параметра  $fp$  следует учитывать, что при его увеличении требуются все более трудоемкие технологические процессы. Например, при  $fp \approx 25\%$  (определенного по средней линии профиля) можно применять чистовое точение, а при  $fp \approx 40\%$  необходимо хонингование.

При нормировании шероховатости поверхностей деталей, входящих в соединение, следует учитывать, что эксплуатационные характеристики соединения зависят не только от шероховатости поверхности отдельных деталей, но и от их взаимного сочетания. Например, для повышения контактной жесткости необходимо, чтобы обе контактирующие поверхности имели приблизительно одинаковую шероховатость.

В обоснованных случаях устанавливают требования к направлению неровностей поверхности. Типы направлений неровностей поверхности и их обозначение приведены в табл. 3. Например, наименьший коэффициент трения и износ деталей достигается тогда, когда направление движения не совпадает с направлением неровностей, в частности, при произвольном направлении неровностей. Неровности с произвольным направлением получаются, например, при суперфинишировании и хонинговании.

Стандарт позволяет устанавливать также вид обработки поверхности. Однако это положение стандарта целесообразно использовать только в том случае, если вид обработки непосредственно влияет на эксплуатационные показатели изделия.

При выборе числовых значений параметров шероховатости поверхности следует учитывать, что эксплуатационная шероховатость обычно отличается от технологической. Выбранная шероховатость в большинстве случаев не должна существенно отличаться от эксплуатационной шероховатости.

В некоторых случаях для оценки влияния шероховатости поверхности на интенсивность износа деталей необходимо знать углы наклона боковых сторон неровностей и радиусы закругления вершины выступов

3. Типы направлений неровностей поверхностей и их обозначение

Направление неровностей	Схематическое изображение	Обозначение
Параллельное		
Перпендикулярное		
Перекрещивающееся		
Произвольное		
Кругообразное		
Радиальное		

неровностей, а для оценки циклической прочности деталей — радиусы закругления впадин неровностей.

Требования к шероховатости поверхности отдельных участков одной поверхности могут быть различными. Для ответственных поверхностей шероховатость выбирают в соответствии с требованиями технической эстетики, коррозионной стойкостью и технологией изготовления. Шероховатость поверхностей, которые не оказывают непосредственного влияния на эксплуатационные и другие показатели изделий, может не устанавливаться. Если требования к шероховатости поверхности не установлены, то шероховатость этой поверхности контролю не подлежит.

При установлении числовых значений параметров указывают: 1) наибольшее допустимое значение параметра; 2) диапазон значений параметра; 3) номинальное значение параметра, а также базовую длину, на которой необходимо определять параметры шероховатости поверхности.

При указании номинальных значений параметров должны быть установлены допустимые отклонения параметров от номинального в процентах. Нормирование шероховатости поверхности путем установления номинальных значений параметров обеспечивает наиболее строгий метрологический контроль. Применение этого способа нормирования шероховатости целесообразно для ответственных поверхностей.

Обозначение шероховатости поверхности. Знаки для обозначения шероховатости поверхности и правила нанесения их на чертежах изделий всех отраслей промышленности установлены ГОСТ 2.309—73\*.

\* ГОСТ 2.309—73 соответствует рекомендации СЭВ по стандартизации РС 1508—73 и рекомендации ИСО Р 1302—70.

Шероховатость поверхностей обозначают на чертеже для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей изделия, независимо от метода их образования, кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции.

Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. 5, а.

Если конструктор не устанавливает вид обработки, то для обозначения шероховатости поверхности применяют знак, показанный на рис. 5, а.

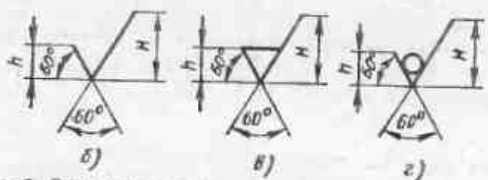
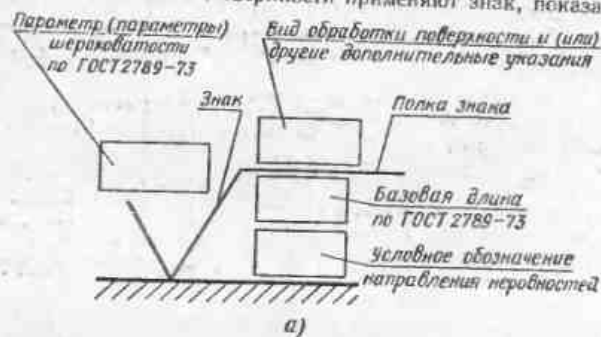


Рис. 5. Структура обозначения и знака обозначения шероховатости поверхности

рис. 5, б. Этот способ установления требований к шероховатости поверхности является предпочтительным для применения.

Шероховатость поверхности, образуемой удалением слоя материала, например, точением, фрезерованием, травлением и т. п., обозначают знаком, представленным на рис. 5, в.

Если поверхность должна быть образована без снятия слоя материала, например, литьем, ковкой, волочением и т. п., то для обозначения применяют знак, показанный на рис. 5, г.

Последние два знака следует использовать только в тех случаях, когда вид обработки оказывает влияние на качественные показатели изделия.

Поверхности, не обрабатываемые по данному чертежу, обозначают знаком  $\nabla$ . Шероховатость поверхности, обозначенная этим знаком,

должна удовлетворять требованиям, установленным соответствующим стандартом или техническими условиями на сортament материала.

Числовое значение параметра шероховатости  $R_a$  указывают в ее обозначении без символа, например, 0,5; для остальных параметров — после соответствующего символа, например:  $R_{max} 6,3$ ;  $S_m 0,63$ .

$S 0,032$ ;  $R_z 32$ ;  $l_{50} 70$  (относительная опорная длина профиля  $l_p = 70\%$  при уровне сечения профиля  $p = 50\%$ ). Здесь указано наибольшее допустимое значение параметров шероховатости; их наименьшее значение не ограничивается.

При указании диапазона значений параметра шероховатости поверхности (наибольшего и наименьшего) в обозначении приводят пределы значений параметра, размещая их в две строки, например:

1,00	Rz 0,080	Rmax 0,80	l <sub>90</sub> 50 и т. п.
0,63	0,032	0,32	70 и т. п.

В верхней строке указывают значение параметра, соответствующее более грубой шероховатости.

При указании номинального значения параметра шероховатости поверхности в обозначении приводят это значение с предельными отклонениями, например:

$1 \pm 20\%$ ;  $R_z 80_{-10\%}$ ;  $S_m 0,63^{+20\%}$ ;  $l_{50} 70 \pm 40\%$  и т. п.

Базовую длину в требованиях к шероховатости поверхности не указывают, если параметры  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  определены на базовой длине  $l$  в соответствии с табл. 2.

При указании двух и более параметров шероховатости поверхности в обозначении их записывают сверху вниз в следующем порядке (рис. 6, а): параметр высоты неровностей профиля ( $R_a$  не более 0,1 мкм, базовая длина  $l$  соответствует табл. 2 и равна 0,25 мм), параметр шага неровностей профиля ( $S_m$  от 0,063 до 0,040 мм на базовой длине 0,8 мм), относительная опорная длина профиля ( $l_{50} 80 \pm 10\%$  на базовой длине 0,25 мм).

Пример обозначения вида обработки показан на рис. 6, б.

Допускается применять упрощенное обозначение шероховатости поверхностей (рис. 6, в) с разъяснением его в технических требованиях чертежа по примеру, представленному на рис. 6, г.

Обозначения шероховатости поверхностей на изображении детали располагают на линиях контура, выносных линиях (по возможности ближе к размерной линии) или на полках линий-выносок.

Допускается при недостатке места располагать обозначения шероховатости на размерных линиях или на их продолжениях, а также разбивать выносную линию (рис. 7, а).

При изображении изделия с разрывом обозначение шероховатости наносят только на одной части изображения, по возможности ближе к месту указания размеров (рис. 7, б).

При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей детали обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении детали не наносят (рис. 8, а).

При указании одинаковой шероховатости для части поверхностей детали в правом верхнем углу чертежа помещают обозначение одинаковой шероховатости и знак  $\nabla$  (рис. 8, б). Это означает, что все по-

верхности, на изображении которых не нанесено обозначение шероховатости или знак  $\nabla$ , должны иметь шероховатость, указанную перед

знаком  $\nabla$ .

знаком  $\nabla$ .

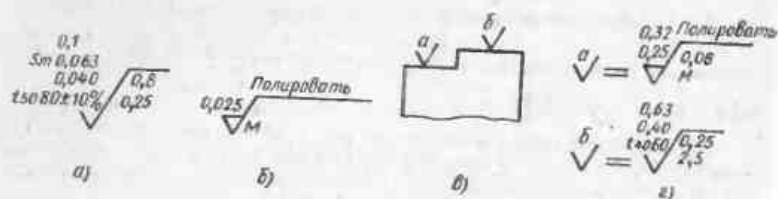


Рис. 6. Примеры обозначения шероховатости поверхности

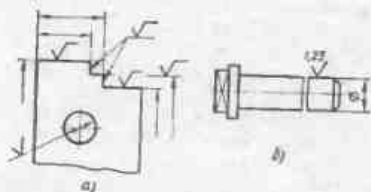


Рис. 7. Допустимые обозначения шероховатости поверхности на размерных или выносных линиях и на деталях, изображенных с разрывом

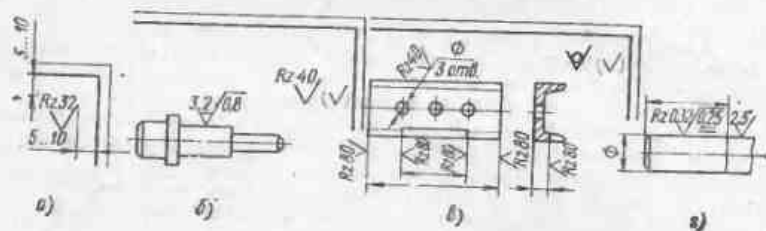


Рис. 8. Примеры специфических случаев обозначения шероховатости поверхности

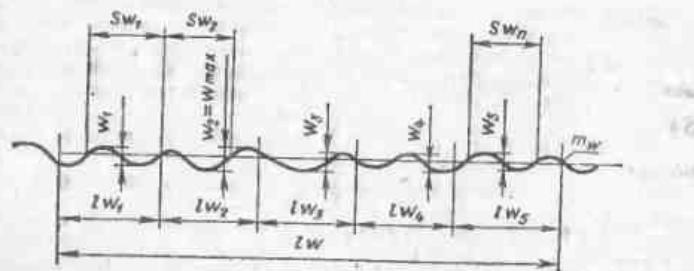


Рис. 9. Профиль волнистости поверхности

Когда часть поверхностей изделия не обрабатывается по данному чертежу, в правом верхнем углу чертежа перед знаком  $\sqrt{\quad}$  помещают знак  $\nabla$  (рис. 8, в).

Если шероховатость одной и той же поверхности различна на отдельных участках, эти участки разграничивают сплошной тонкой линией с нанесением соответствующих размеров и обозначений шероховатости (рис. 8, г).

## 2. ВОЛНИСТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

**Волнистость поверхности** — совокупность периодически повторяющихся неровностей, у которых расстояние между вершинами выступов или углублениями впадин больше базовой длины  $l$ . Волнистость обычно образуется под воздействием колебаний в системе станок—приспособление—инструмент—деталь. Эти колебания возникают из-за неравномерности сил резания, наличия неуравновешенных масс и т. д. Форма волнистости зависит от причины ее возникновения. В большинстве случаев профиль волнистости имеет форму, близкую к синусоидальной.

Рекомендацией СЭВ по стандартизации РС 3951—73 установлены высотные параметры волнистости  $W_z$  и  $W_{max}$  и шаговый параметр  $Sw$ , составляющие которых показаны на рис. 9.

Параметр

$$W_z = \frac{1}{5} (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5).$$

Значения  $W_1 - W_5$  определяются на участке измерения  $L_w$ , длина которого составляет не менее пяти действительных наибольших шагов  $Sw$  волнистости.

Предельные числовые значения  $W_z$  выбирают из ряда 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25; 50; 100; 200 мкм.

Наибольшая высота волнистости  $W_{max}$  — расстояние между высшей и низшей точками измеренного профиля в пределах  $L_w$ , определенное на одной полной волне.

Средний шаг волнистости

$$Sw = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i.$$

Волнистость занимает промежуточное положение между отклонениями формы и шероховатостью поверхности. Физических границ между этими неровностями поверхности не существует. Условно границу между этими неровностями можно установить по значению отношения  $Sw$  к  $W_z$ . Неровности, для которых  $\frac{Sw}{W_z} < 40$ , относят к шероховатости поверхности, при  $1000 > \frac{Sw}{W_z} > 40$  — к волнистости поверхности и неровности, для которых  $\frac{Sw}{W_z} > 1000$ , — к отклонениям формы.

Волнистость оказывает большое влияние на качественные показатели изделий. Поэтому вопросы нормирования и контроля волнистости имеют важное практическое значение.

## ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

### 1. СИСТЕМЫ ДОПУСКОВ И ПОСАДОК ДЛЯ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

В подвижных соединениях, обеспечивающих взаимное перемещение вала в отверстии, между поверхностями вала и отверстия предусматривается зазор, величина которого  $S$  и возможное колебание этой величины зависят от эксплуатационных требований, предъявляемых к соединению. Так, например, в подшипниках скольжения наименьший допустимый зазор должен обеспечивать жидкостное трение\*, заданную несущую способность подшипника и сохранение требуемого вида трения при увеличении зазора (в допустимых пределах) в процессе эксплуатации. Для образования подвижных соединений различного типа стандартами установлен ряд посадок с зазором.

В неподвижных соединениях положение вала и отверстия, устанавливаемое в процессе сборки, должно сохраняться благодаря гарантированному натягу или дополнительному креплению деталей шпонками, стопорными винтами и т. п. Для образования неподвижных соединений различного типа стандартами установлен ряд посадок с натягом и посадок переходных.

**Интервалы номинальных размеров.** В системе допусков ISO весь диапазон номинальных размеров до 500 мм разбит на 13 интервалов (до 3 мм, свыше 3 до 6, свыше 6 до 10 и т. д.), а диапазон размеров свыше 500 до 3150 мм — на 8 интервалов.

Для полей допусков, образующих посадки с большими зазорами и натягами, введены дополнительные промежуточные интервалы. Увеличение числа интервалов для указанных посадок уменьшает колебания величин зазоров и натягов и делает посадки более определенными. Интервалы размеров до 180 мм в системах ISO, СЭВ и ГОСТ одинаковы. Отличие состоит в том, что в системе ISO размеры менее 1 мм включены в первый интервал, охватывающий все размеры до 3 мм; в ЕСДП СЭВ предусмотрены интервалы: до 0,1; свыше 0,1 до 0,3; свыше 0,3 до 1 мм (исключительно). Для размеров св. 180 в системе ISO и ЕСДП СЭВ установлено четыре интервала: 180—250—315—400—500 мм, а в ГОСТ — три: 180—260—360—500 мм.

**Квалитеты.** В системе СЭВ для размеров до 500 мм установлено 19 квалитетов (табл. 1): IT01, IT0, IT1, ..., IT17. Буквы IT означают допуск ISO. Например, IT7 означает допуск по 7-му квалитету ISO.

Указанные квалитеты охватывают допуски размеров сопрягаемых и несопрягаемых поверхностей деталей, а также допуски калибров и концевых мер. Примерная область применения квалитетов указана в табл. 2. По СТ СЭВ (и ГОСТ) допуски калибров и концевых мер устанавливаются особыми стандартами.

1. Значения допусков (мкм) для размеров до 500 мм

Для интервалов размеров, мм	Квалитет											
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Св. До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40
3 до 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	10	15	25	40	60
6 » 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	10	15	25	40	60
10 » 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	18	27	43	70
18 » 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84
30 » 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100
50 » 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120
80 » 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140
120 » 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160
180 » 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185
250 » 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210
315 » 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230
400 » 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	260

Для интервалов размеров, мм	Квалитет							
	11	12	13	14	15	16	17	18
Св. До 3	60	100	140	250	400	600	1000	—
3 до 6	75	120	180	300	480	750	1200	—
6 » 10	90	150	220	360	580	900	1500	—
10 » 18	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
18 » 30	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
30 » 50	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
50 » 80	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
80 » 120	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
120 » 180	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
180 » 250	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
250 » 315	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
315 » 400	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
400 » 500	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700

Примечания. 1. Для размеров до 1 мм квалитеты от 14 до 17 не применяются.

2. Квалитет IT18 используется для нормирования точности для деталей из пластмасс.

Вводимые квалитеты имеют преимущество перед классами точности ГОСТ. Класс точности не всегда однозначно определяет допуск. Например, в классах 1—3 допуски валов в системе отверстия и допуски отверстий в системе вала в пределах одного класса не одинаковы, а увеличиваются в посадках с большими зазорами и натягами. Коэффициент возрастания допусков при переходе от одного класса точности к другому не всегда равен 1,6, а колеблется от 1,3 до 2. Однозначное соответствие между допуском и номером квалитета облегчает сопоставление допусков, оценку трудоемкости изготовления деталей и т. д.

Сравнение квалитетов ISO с классами точности ГОСТ дано в табл. 2. Наиболее существенное расхождение состоит в том, что в системе ISO отсутствуют ряды, соответствующие допускам 3 и 5-го классов точности ГОСТ, которые занимают промежуточное положение соответственно

\* По ГОСТ 23 002—78 — трение со смазочным материалом.

## 2. Сравнение допусков ISO с классами точности ГОСТ для размеров до 500 мм

Показатели	Назначение допусков										
	на концевые меры длины			на калибры и особо точные изделия				на размеры сопрягаемых деталей (для образования посадок)			
Число единиц допуска $\mu$	—	—	—	—	—	—	—	7	10	16	
Класс точности ISO	—	01	0	1	2	3	4	5	6	7	
Классы точности по ГОСТ	Основное отверстие	02	03	04	05	06	07	08	09	1	2
	Основной вал	02	03	04	05	06	07	08	1	2	2a

Показатели	Назначение допусков													
	на размеры сопрягаемых деталей (для образования посадок)						на неотчетливые размеры (большие допуски)							
Число единиц допуска $\mu$	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500			
Класс точности ISO	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
Классы точности по ГОСТ	Основное отверстие	2a	—	3a	4	—	5	—	7	8	9	10	11	
		—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Классы точности по ГОСТ	Основной вал	—	3	—	3a	4	—	5	—	7	8	9	10	11
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Допуски отверстий  $X_1$  соответствуют допускам IT7; J, Ш — допускам IT8;  $X_2$  — допускам IT9; допуски валов  $X_1$  соответствуют допускам IT6; X, Gr — допускам IT7, J, Ш, TX, Pr<sub>2a</sub> — допускам IT8;  $X_2$  — допускам IT9.

между 8 и 9, 12 и 13 классами (табл. 2). Допуски классов точности 2a, 3a, 7, 8, 9 и 10, а также допуски точнее 1-го класса точности для размеров до 180 мм полностью совпадают с допусками ISO и СЭВ. Для размеров свыше 180 до 500 мм допуски указанных классов точности отличаются примерно на 10%.

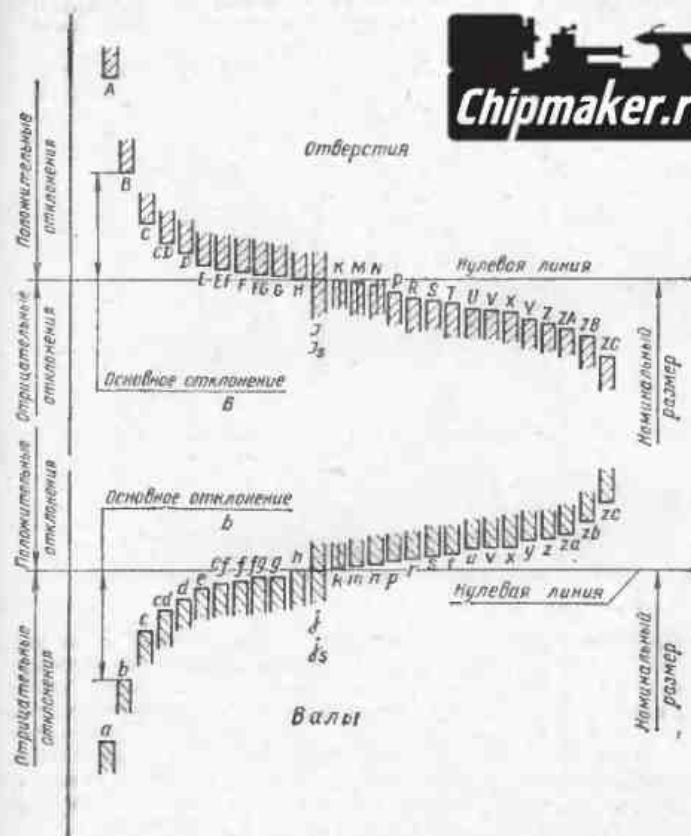


Рис. 1. Основные отклонения отверстий и валов, принятые в системе ISO и ЕСДП СЭВ (B — верхнее отклонение, b — нижнее)

Основные отклонения, принятые в стандартах СЭВ. Для образования посадок с различными зазорами и натягами в системах СЭВ для размеров до 500 мм установлено 27 вариантов величин основных отклонений валов и отверстий.

Основным отклонением называют одно из двух отклонений (верхнее или нижнее), используемое для определения положения поля допусков относительно нулевой линии (рис. 1). В системах СЭВ таким отклоне-



нием является наименьшее отклонение от нулевой линии. Основные отклонения отверстий обозначают прописными (большими) буквами латинского алфавита, валов — строчными (малыми) буквами. Отклонение основного отверстия обозначают буквой *H*, основного вала — буквой *h*. Отклонения *A—H* и *a—h* — предназначены для образования полей допусков в посадках с зазорами; отклонения *J—N* и *j—n* — в переходных посадках, отклонения *P—ZC* и *p—zc* в посадках с натягом.

Каждой буквой обозначается ряд основных отклонений, величина которых не зависит от качества и изменяется только в зависимости от номинального размера (рис. 2).

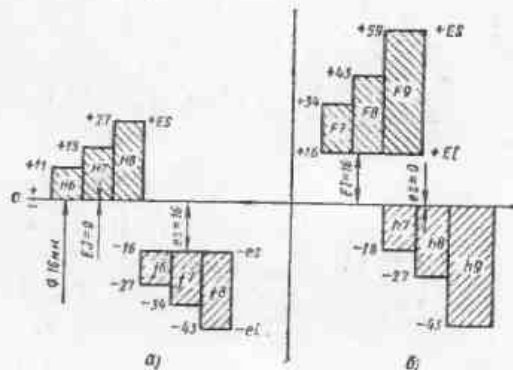


Рис. 2. Схема расположения полей допусков посадок с зазором в системах ISO и ЕСП СЭВ:  
а — в системе отверстий; б — в системе валов

**Предпочтительные поля допусков.** В соответствии с рекомендацией ISO и практикой всех стран — членов СЭВ, а также ряда других стран, стандарт СЭВ выделяет из основных рядов для размеров от 1 до 500 мм ряд предпочтительных полей допусков. Они обеспечивают большинство посадок общего применения. Использование предпочтительных полей допусков способствует повышению уровня унификации изделий, сокращает номенклатуру размерных режущих инструментов и калибров, создает благоприятные условия для организации централизованного производства стандартного режущего инструмента и калибров на специализированных предприятиях, продукция которых имеет повышенное качество и в 3—5 раз дешевле продукции инструментальных цехов машиностроительных заводов. Для размеров более 500 мм и менее 1 мм предпочтительные поля допусков не выделены, но в приложении 2 СТ СЭВ 144—75 даны рекомендации по применению полей допусков в различных интервалах номинальных размеров менее 1 мм.

Предпочтительные поля допусков для размеров от 1 до 500 мм следующие: для валов — *g6, h6, js6, k6, n6, p6, r6, s6, f7, h7, e8, h8, d9, h9, d11, h11*, для отверстий — *H7, J7, K7, N7, P7, F8, H8, E9, H9, H11*.

Предельные отклонения принятых СТ СЭВ 144—75 полей допусков для диапазонов размеров от 1 до 500 мм приведены в таблицах 3 и 4.

3. Предельные отклонения валов при номинальных размерах от 1 до 500 мм (СТ СЭВ 144—75)

Интервал размеров, мм	Квалитет 5								
	Поля допусков								
	<i>g5</i>	<i>h5</i>	<i>js5</i>	<i>k5</i>	<i>m5</i>	<i>n5</i>	<i>p5</i>	<i>r5</i>	<i>s5</i>
Предельные отклонения, мкм									
От 1 до 3	-2 -6	0 -4	+2,0 -2,0	+4 0	+6 +2	+8 +4	+10 +6	+14 +10	+18 +14
Св. 3 до 6	-4 -9	0 -5	+2,5 -2,5	+6 +1	+9 +4	+13 +8	+17 +12	+20 +15	+24 +19
Св. 6 до 10	-5 -11	0 -6	+3,0 -3,0	+7 +1	+12 +6	+16 +10	+21 +15	+25 +19	+29 +23
Св. 10 до 14	-6	0	+4,0	+9	+15	+20	+26	+31	+36
Св. 14 до 18	-14	-8	-4,0	+1	+7	+12	+18	+23	+28
Св. 18 до 24	-7	0	+4,5	+11	+17	+24	+31	+37	+44
Св. 24 до 30	-16	-9	-4,5	+2	+8	+15	+22	+28	+35
Св. 30 до 40	-9	0	+5,5	+13	+20	+28	+37	+45	+54
Св. 40 до 50	-26	-11	-6,5	+2	+9	+17	+26	+34	+43
Св. 50 до 65	-10	0	+6,5	+15	+24	+33	+45	+54	+66
Св. 65 до 80	-23	-13	-6,5	+2	+11	+20	+32	+41	+53
Св. 80 до 100	-12	0	+7,5	+18	+28	+38	+52	+66	+86
Св. 100 до 120	-27	-16	-7,5	+3	+13	+23	+37	+51	+71
								+69	+91
								+54	+79





Продолжение табл. 3

Интервал разме- ров, мм	Квалитет 6										
	Поли допусков										
	i6	g6	h6	f <sub>s</sub> 6	k6	m6	n6	p6	r6	s6	t6
	Предельные отклонения, мкм										
Св. 120 до 140									+88 +63	+117 +92	+147 +122
Св. 140 до 160	-43 -68	-14 -39	0 -25	+12,5 -12,5	+28 +3	+40 +15	+52 +27	+68 +43	+90 +65	+125 +100	+169 +134
Св. 160 до 180									+93 +68	+133 +108	+171 +146
Св. 180 до 200									+106 +77	+151 +122	+195 +166
Св. 200 до 225	-50 -79	-15 -44	0 -29	+14,5 -14,5	+33 +4	+46 +17	+60 +31	+79 +50	+109 +80	+159 +130	+209 +180
Св. 225 до 250									+113 +84	+169 +140	+225 +196
Св. 250 до 280									+126 +94	+190 +158	+250 +218
Св. 280 до 315	-56 -88	-17 -49	0 -32	+16,0 -16,0	+36 +4	+62 +20	+66 +34	+88 +56	+130 +98	+202 +170	+272 +240
Св. 315 до 355									+144 +108	+226 +190	+304 +268
Св. 355 до 400	-62 -98	-18 -54	0 -36	+18,0 -18,0	+40 +4	+57 +21	+73 +37	+98 +62	+150 +114	+244 +208	+330 +294
Св. 400 до 450									+166 +126	+272 +232	+370 +330
Св. 450 до 500	-68 -108	-20 -60	0 -40	+20,0 -20,0	+46 +5	+63 +23	+80 +40	+108 +68	+172 +132	+262 +222	+400 +360

Продолжение табл. 3

Интервал разме- ров, мм	Квалитет 7								
	Поли допусков								
	e7	f7	h7	f <sub>s</sub> 7	k7	m7	n7	s7	t7
	Предельные отклонения, мкм								
От 1 до 3	-14 -24	-6 -16	0 -10	+5 -5	+10 0	-	+14 +4	+24 +14	+28 +18
Св. 3 до 6	-20 -32	-10 -22	0 -12	+6 -6	+13 +1	+16 +4	+20 +8	+31 +19	+35 +23
Св. 6 до 10	-25 -40	-13 -28	0 -15	+7 -7	+16 +1	+21 +6	+25 +10	+38 +23	+43 +28
Св. 10 до 14									
Св. 14 до 18	-32 -50	-16 -34	0 -18	+9 -9	+19 +1	+25 +7	+30 +12	+46 +28	+51 +33
Св. 18 до 24									
Св. 24 до 30	-40 -61	-20 -41	0 -21	+10 -10	+23 +2	+29 +8	+36 +15	+56 +35	+62 +41 +69 +48
Св. 30 до 40									
Св. 40 до 50	-50 -75	-25 -50	0 -25	+12 -12	+27 +2	+34 +9	+42 +17	+68 +43	+85 +60 +95 +70
Св. 50 до 65									
Св. 65 до 80	-60 -90	-30 -60	0 -30	+15 -15	+32 +2	+41 +11	+50 +20	+83 +53	+117 +87 +132 +102
Св. 80 до 100									
Св. 100 до 120	-72 -107	-36 -71	0 -35	+17 -17	+38 +3	+48 +13	+58 +23	+106 +71	+159 +124 +179 +144

Продолжение табл. 2

Интервал разме- ров, мм	Квалитет											
	Поли допусков											
	<i>h8</i>	<i>f8</i>	<i>g8</i>	<i>h7</i>	<i>k7</i>	<i>m7</i>	<i>n7</i>	<i>p7</i>	<i>s7</i>	<i>t7</i>	<i>v7</i>	
Предельные отклонения, мкм												
Св. 120 до 140											+132 +92	+210 +170
Св. 140 до 160	-85 -125	-43 -83	0 -40	+20 -20	+43 +3	+55 +15	+67 +27				+140 +100	+230 +190
Св. 160 до 180											+148 +108	+250 +210
Св. 180 до 200											+168 +122	+282 +236
Св. 200 до 225	-100 -146	-50 -96	0 -46	+23 -23	+50 +4	+63 +17	+77 +31				+175 +130	+304 +258
Св. 225 до 250											+186 +140	+330 +284
Св. 250 до 280											+210 +158	+367 +315
Св. 280 до 315	-110 -162	-56 -106	0 -52	+26 -26	+56 +4	+72 +20	+86 +34				+222 +170	+402 +350
Св. 315 до 355											+247 +190	+447 +390
Св. 355 до 400	-125 -182	-62 -119	0 -57	+28 -28	+61 +4	+78 +21	+94 +37				+265 +203	+492 +435
Св. 400 до 450											+295 +232	+553 +490
Св. 450 до 500	-135 -198	-68 -131	0 -63	+31 -31	+68 +5	+86 +23	+103 +40				+315 +252	+603 +540

Продолжение табл. 3

Интервал разме- ров, мм	Квалитет 8												
	Поли допусков												
	<i>e8</i>	<i>f8</i>	<i>g8</i>	<i>h8</i>	<i>js8*</i>	<i>k8</i>	<i>m8</i>	<i>n8</i>	<i>s8</i>	<i>t8</i>	<i>v8</i>		
Предельные отклонения, мкм													
От 1 до 3	-60 -74	-20 -34	-14 -28	-6 -20	0 -14	+7 -7	+32 +18	+34 +20	+40 +26				
Св. 3 до 6	-70 -88	-30 -48	-20 -38	-10 -28	0 -18	+9 -9	+41 +23	+46 +28	+53 +35				
Св. 6 до 10	-80 -102	-40 -62	-25 -47	-13 -35	0 -22	+11 -11	+50 +28	+56 +34	+64 +42				
Св. 10 до 14										+67 +40	+77 +50		
Св. 14 до 18	-95 -122	-50 -77	-32 -59	-16 -43	0 -27	+13 -13	+60 +33				+72 +45	+87 +60	
Св. 18 до 24										+74 +41	+87 +54	+106 +73	
Св. 24 до 30	-110 -143	-65 -98	-40 -73	-20 -53	0 -33	+16 -16					+81 +48	+97 +64	+121 +88
Св. 30 до 40	-120 -159									+99 +60	+119 +80	+151 +112	
Св. 40 до 50		-80 -119	-50 -89	-25 -64	0 -39	+19 -19					+109 +70	+136 +97	+175 +136
Св. 50 до 65	-140 -186									+133 +87	+168 +122	+218 +172	
Св. 65 до 80		-100 -146	-60 -106	-30 -76	0 -46	+23 -23					+148 +102	+192 +146	+256 +210
Св. 80 до 100	-170 -224									+178 +124	+232 +178	+312 +258	
Св. 100 до 120		-120 -174	-72 -126	-36 -90	0 -54	+27 -27					+198 +144	+264 +210	+364 +310

Продолжение табл. 3

Интервал разме- ров, мм	Квалитет 8								
	Поля допусков								
	<i>сб</i>	<i>d8</i>	<i>h3</i>	<i>/8</i>	<i>h8</i>	<i>js8*</i>	<i>u8</i>	<i>x8</i>	<i>z8</i>
	Предельные отклонения, мкм								
Св. 120 до 140	-200 -263						+233 +170	+311 +248	+428 +365
Св. 140 до 160	-210 -273	-145 -208	-85 -148	-43 -106	0 -63	+31 -31	+253 +190	+343 +280	+478 +415
Св. 160 до 180	-230 -293						+273 +210	+373 +310	+528 +465
Св. 180 до 200	-240 -312						+308 +236	+422 +350	+552 +520
Св. 200 до 225	-260 -332	-170 -242	-100 -172	-50 -122	0 -72	+36 -36	+330 +258	+457 +385	+647 +575
Св. 225 до 250	-280 -352						+356 +284	+497 +425	+712 +640
Св. 250 до 280	-300 -381						+395 +315	+556 +475	+791 +710
Св. 280 до 315	-330 -411	-190 -271	-110 -191	-56 -137	0 -81	+40 -40	+431 +350	+606 +525	+871 +790
Св. 315 до 355	-360 -449						+479 +390	+679 +590	+989 +900
Св. 355 до 400	-400 -489	-210 -299	-125 -214	-62 -151	0 -89	+44 -44	+524 +435	+749 +660	+1089 +1000
Св. 400 до 450	-440 -537						+587 +490	+837 +740	+1197 +1100
Св. 450 до 500	-480 -577	-230 -327	-135 -232	-68 -165	0 -97	+48 -48	+637 +540	+917 +820	+1347 +1250

Продолжение табл. 3

Интервал разме- ров, мм	Квалитет 9				
	Поля допусков				
	<i>u9</i>	<i>e9</i>	<i>f9</i>	<i>h9</i>	<i>js9*</i>
	Предельное отклонение, мкм				
От 1 до 3	-20 -45	-14 -39	-6 -31	0 -25	+12 -12
Св. 3 до 6	-30 -60	-20 -50	-10 -40	0 -30	+15 -15
Св. 6 до 10	-40 -76	-25 -61	-13 -49	0 -35	+18 -18
Св. 10 до 14					
Св. 14 до 18	-50 -93	-32 -75	-16 -59	0 -43	+21 -21
Св. 18 до 24					
Св. 24 до 30	-65 -117	-40 -92	-20 -72	0 -52	+26 -26
Св. 30 до 40					
Св. 40 до 50	-80 -142	-50 -112	-25 -87	0 -62	+31 -31
Св. 50 до 65					
Св. 65 до 80	-100 -174	-60 -134	-30 -104	0 -74	+37 -37
Св. 80 до 100					
Св. 100 до 120	-120 -207	-72 -159	-35 -123	0 -87	+43 -43

Продолжение табл. 3

Интервал разме- ров, мм	Квалитет 9				
	Поля допусков				
	<i>h9</i>	<i>e9</i>	<i>f9</i>	<i>h9</i>	<i>i<sub>9</sub></i> *
Предельные отклонения, мкм					
Св. 120 до 140					
Св. 140 до 160	-145 -245	-85 -185	-43 -143	0 -100	+50 -50
Св. 160 до 180					
Св. 180 до 200					
Св. 200 до 225	-170 -285	-100 -215	-50 -165	0 -115	+57 -57
Св. 225 до 250					
Св. 250 до 280					
Св. 280 до 315	-190 -320	-110 -240	-56 -186	0 -130	+65 -65
Св. 315 до 355					
Св. 355 до 400	-210 -350	-125 -265	-62 -202	0 -140	+70 -70
Св. 400 до 450					
Св. 450 до 500	-230 -385	-135 -290	-68 -223	0 -155	+77 -77

\* Поля допусков, как правило, не предназначены для посадок.

Примечание. Обозначения предпочтительных полей допусков даны в прямоугольных рамках.

## 4. Предельные отклонения отверстий при номинальных размерах от 1 до 500 мм (СТ СЭВ 144-75)

Интервал разме- ров, мм	Квалитет 5					
	Поля допусков					
	<i>H5</i>	<i>h5</i>	<i>J<sub>s</sub>5</i>	<i>K5</i>	<i>M5</i>	<i>N5</i>
Предельные отклонения, мкм						
От 1 до 3	+6 +2	+4 0	+2,0 -2,0	0 -4	-2 -6	-4 -8
Св. 3 до 6	+9 +4	+5 0	+2,5 -2,5	0 -5	-3 -8	-7 -12
Св. 6 до 10	+11 +5	+6 0	+3,0 -3,0	+1 -5	-4 -10	-8 -14
Св. 10 до 14						
Св. 14 до 18	+14 +6	+8 0	+4,0 -4,0	+2 -6	-4 -12	-9 -17
Св. 18 до 24						
Св. 24 до 30	+16 +7	+9 0	+4,5 -4,5	+1 -8	-5 -14	-12 -21
Св. 30 до 40						
Св. 40 до 50	+20 +9	+11 0	+5,5 -5,5	+2 -9	-5 -16	-13 -24
Св. 50 до 65						
Св. 65 до 80	+23 +10	+13 0	+6,5 -6,5	+3 -10	-6 -19	-15 -28
Св. 80 до 100						
Св. 100 до 120	+27 +12	+15 0	+7,5 -7,5	+2 -13	-8 -23	-18 -33

Продолжение табл. 4

Интервал разме- ров, мм	Квалитет 5					
	Поля допусков					
	G5	H5	J <sub>s</sub> 5	K5	M5	N5
	Предельные отклонения, мкм					
Св. 120 до 140						
Св. 140 до 160	+32 +14	+18 0	+9,0 -9,0	+3 -16	-9 -27	-21 -39
Св. 160 до 180						
Св. 180 до 200						
Св. 200 до 225	+35 +15	+20 0	+10,0 -10,0	+2 -18	-11 -31	-25 -45
Св. 225 до 250						
Св. 250 до 280						
Св. 280 до 315	+40 +17	+23 0	+11,5 -11,5	+3 -20	-13 -36	-27 -50
Св. 315 до 355						
Св. 355 до 400	+43 +18	+25 0	+12,5 -12,5	+3 -22	-14 -39	-30 -55
Св. 400 до 450						
Св. 450 до 500	+47 +20	+27 0	+13,5 -13,5	+2 -25	-16 -43	-33 -60

Продолжение табл. 4

Интервал разме- ров, мм	Квалитет 6						
	Поля допусков						
	G6	H6	J <sub>s</sub> 6	K6	M6	N6	P6
	Предельные отклонения, мкм						
От 1 до 3	+8 +2	+6 0	+3,0 -3,0	0 -6	-2 -8	-4 -10	-6 -12
Св. 3 до 6	+12 +4	+8 0	+4,0 -4,0	+2 -6	-1 -9	-5 -13	-9 -17
Св. 6 до 10	+14 +5	+9 0	+4,5 -4,5	+2 -7	-3 -12	-7 -16	-12 -21
Св. 10 до 14							
Св. 14 до 18	+17 +6	+11 0	+5,5 -5,5	+2 -9	-4 -15	-9 -20	-15 -26
Св. 18 до 24							
Св. 24 до 30	+20 +7	+13 0	+6,5 -6,5	+2 -11	-4 -17	-11 -24	-18 -31
Св. 30 до 40							
Св. 40 до 50	+25 +9	+16 0	+8,0 -8,0	+3 -13	-4 -20	-12 -28	-21 -37
Св. 50 до 65							
Св. 65 до 80	+29 +10	+19 0	+9,5 -9,5	+4 -15	-5 -24	-14 -33	-26 -45
Св. 80 до 100							
Св. 100 до 120	+34 +12	+22 0	+11,0 -11,0	+4 -18	-6 -28	-16 -38	-30 -52

Продолжение табл. 4

Интервал разме- ров, мм	Квалитет 6						
	Поля допусков						
	G6	H6	J <sub>s</sub> 6	K6	M6	N6	P6
Предельные отклонения, мкм							
Св. 120 до 140							
Св. 140 до 160	+39 +14	+25 0	+12,5 -12,5	+4 -21	-8 -33	-20 -45	-36 -61
Св. 160 до 180							
Св. 180 до 200							
Св. 200 до 225	+44 +15	+29 0	+14,5 -14,5	+5 -24	-8 -37	-22 -51	-41 -70
Св. 225 до 250							
Св. 250 до 280	+49 +17	+32 0	+16,0 -16,0	+5 -27	-9 -41	-25 -57	-47 -79
Св. 280 до 315							
Св. 315 до 355	+54 +18	+36 0	+18,0 -18,0	+7 -29	-10 -46	-26 -62	-51 -87
Св. 355 до 400							
Св. 400 до 450	+60 +20,0	+40 0	+20,0 -20,0	+8 -32	-10 -50	-27 -67	-55 -95
Св. 450 до 500							

Продолжение табл. 4

Интервал разме- ров, мм	Квалитет 7										
	Поля допусков										
	F7	G7	H7	J <sub>s</sub> 7	K7	M7	N7	P7	R7	S7	T7
Предельные отклонения, мкм											
От 1 до 3	+16 +6	+12 +2	+10 0	+5 -5	0 -10	-2 -12	-4 -14	-6 -16	-10 -20	-14 -24	-
Св. 3 до 6	+22 +10	+16 +1	+12 0	+6 -6	+3 -9	0 -12	-4 -16	-8 -20	-11 -23	-15 -27	-
Св. 6 до 10	+28 +13	+20 +5	+15 0	+7 -7	+5 -10	0 -15	-4 -19	-9 -24	-13 -28	-17 -32	-
Св. 10 до 14											
Св. 14 до 18	+34 +16	+24 +6	+16 0	+9 -9	+6 -12	0 -18	-5 -23	-11 -29	-16 -34	-21 -39	-
Св. 18 до 24											
Св. 24 до 30	+41 +20	+28 +7	+21 0	+10 -10	+6 -15	0 -21	-7 -26	-14 -35	-20 -41	-27 -48	- -33 -54
Св. 30 до 40											-39 -64
Св. 40 до 50	+50 +25	+34 +9	+25 0	+12 -12	+7 -18	0 -25	-8 -33	-17 -42	-25 -50	-34 -59	-35 -70
Св. 50 до 65											-30 -42 -55 -60 -72 -85
Св. 65 до 80	+60 +30	+40 +10	+30 0	+15 -15	+9 -21	0 -30	-9 -39	-21 -51			-32 -48 -64 -62 -78 -94
Св. 80 до 100											-38 -58 -78 -73 -93 -113
Св. 100 до 120	+71 +36	+47 +12	+36 0	+17 -17	+10 -25	0 -35	-10 -45	-24 -59			-41 -66 -91 -76 -101 -126





Продолжение табл. 4

Интервал разме- ров, мм	Квалитет 8									
	Поли допусков									
	D8	E8	F8	H8	J <sub>s</sub> 8	K8	M8	N8	U8	
Предельные отклонения, мкм										
Св. 120 до 140										-170 -233
Св. 140 до 160	+208 +145	+148 +85	+106 +43	+63 0	+31 -81	+20 -43	+8 -55	-4 -67		-100 -253
Св. 160 до 180										-210 -273
Св. 180 до 200										-236 -308
Св. 200 до 225	+242 +170	+172 +100	+122 +50	+72 0	+36 -36	+22 -50	+9 -63	-5 -77		-258 -330
Св. 225 до 250										-284 -350
Св. 250 до 280										-315 -390
Св. 280 до 315	+271 +190	+191 +110	+137 +56	+81 0	+40 -40	+25 -56	+9 -72	-5 -86		-350 -431
Св. 315 до 355										-390 -479
Св. 355 до 400	+299 +210	+214 +125	+151 +62	+89 0	+44 -44	+28 -61	+11 -78	-5 -94		-435 -524
Св. 400 до 450										-490 -587
Св. 450 до 500	+327 +230	+232 +135	+165 +68	+97 0	+48 -48	+29 -68	+11 -86	-6 -103		-540 -637

Продолжение табл. 4

Интервал разме- ров, мм	Квалитет 9				
	Поли допусков				
	D9	E9	F9	H9	J <sub>s</sub> 9*
Предельные отклонения, мкм					
От 1 до 3	+45 +20	+39 +14	+31 +6	+25 0	+12 -12
Св. 3 до 6	+60 +30	+50 +20	+40 +10	+30 0	+15 -15
Св. 6 до 10	+76 +40	+61 +25	+49 +13	+36 0	+18 -18
Св. 10 до 14					
Св. 14 до 18	+93 +60	+75 +32	+69 +16	+43 0	+21 -21
Св. 18 до 24					
Св. 24 до 30	+117 +66	+92 +40	+72 +20	+52 0	+26 -26
Св. 30 до 40					
Св. 40 до 50	+142 +80	+112 +50	+87 +25	+62 0	+31 -31
Св. 50 до 65					
Св. 65 до 80	+174 +100	+134 +60	+104 +30	+74 0	+37 -37
Св. 80 до 100					
Св. 100 до 120	+207 +120	+159 +72	+123 +36	+87 0	+43 -43

Продолжение табл. 4

Интервал разме- ров, мм	Квалитет 9				
	Поля допусков				
	D9	E9	F9	H9	J <sub>9</sub> *
Предельные отклонения, мкм					
Св. 120 до 140					
Св. 140 до 160	+245 +145	+185 +85	+143 +43	+100 0	+50 -50
Св. 160 до 180					
Св. 180 до 200					
Св. 200 до 225	+285 +170	+215 +100	+165 +50	+115 0	+57 -57
Св. 225 до 250					
Св. 250 до 280					
Св. 280 до 315	+320 +190	+240 +110	+185 +55	+130 0	+65 -65
Св. 315 до 355					
Св. 355 до 400	+350 +210	+265 +125	+202 +62	+140 0	+70 -70
Св. 400 до 450					
Св. 450 до 500	+385 +230	+290 +135	+223 +68	+155 0	+77 -77

Примечание. См. примечание к табл. 3.

**Поля допусков.** Поле допуска в системах ISO и СЭВ образуется сочетанием одного из основных отклонений с допуском по одному из квалитетов. В соответствии с этим правилом поле допуска обозначают буквой основного отклонения (или в некоторых случаях двумя буквами) и номером квалитета, например для вала  $h6, d11$ ; для отверстия  $H6, D11$ .

Поле допуска начинается от одной из горизонтальных линий, определяемых основным отклонением, показанных на рис. 1. Второе предельное отклонение, ограничивающее данное поле допуска, определено по основному отклонению и допуску принятого квалитета. Если основное отклонение верхнее, то нижнее отклонение для вала  $ei = es - IT$ , для отверстия  $EI = ES - IT$ . Если основное отклонение нижнее, то верхнее отклонение для вала  $es = ei + IT$ ; для отверстия  $ES = EI + IT$ . Величины  $ei, es, EI, ES$  берут с учетом знака.

Основные отклонения отверстий построены таким образом, чтобы обеспечить образование посадок в системе вала, эквивалентных посадкам в системе отверстия. Они равны по величине и противоположны по знаку основным отклонениям валов, обозначаемых той же буквой; общее правило определения основных отклонений отверстий:

$$\left. \begin{aligned} EI &= -es && \text{для отверстий от } A \text{ до } H; \\ ES &= -ei && \text{от } J \text{ до } ZC. \end{aligned} \right\} (1)$$

Это правило формулируется следующим образом: основное отклонение отверстия должно быть симметрично относительно нулевой линии основному отклонению вала, обозначаемому той же буквой. Из этого правила сделано исключение для отклонений отверстий размером свыше 3 мм:  $J, K, M$  и  $N$  с допусками до  $IT8$  включительно и отклонений отверстий  $P - ZC$  — до  $IT7$  включительно. Для них установлено специальное правило

$$ES = -ei + \Delta, \quad (2)$$

где  $\Delta$  — поправка, равная разности  $IT_n - IT_{n-1}$  между допуском рассматриваемого квалитета и допуском ближайшего более точного квалитета. Например, согласно табл. 7 СТ СЭВ 145—75 нижнее отклонение вала  $p$  для интервала размеров 18—30 мм  $ei = +22$  мкм. По уравнению (1) верхнее отклонение отверстия  $P$  для указанных размеров было бы равно  $ES = -ei = -22$  мкм. Но согласно специальному правилу для основного отклонения  $P$  величина  $ES = -ei + \Delta$  (рис. 3).

Специальное правило введено для того, чтобы посадки, в которых квалитет отверстия выше квалитета вала (например,  $H7/p6$  и  $P7/h6$ ), имели бы одинаковые зазоры (или натяги) как в системе отверстия, так и в системе вала, т. е. были бы эквивалентными. Такое комбинирование принято для квалитетов 5—8.

Для облегчения расчетов и для единообразия результатов СТ СЭВ 144—75 установлены величины верхнего и нижнего предельных отклонений, определяющих поля допусков, образующие рекомендуемые посадки. При использовании таблиц СТ СЭВ 144—75 подсчет величин отклонений как по общему, так и по специальному правилу не требуется.

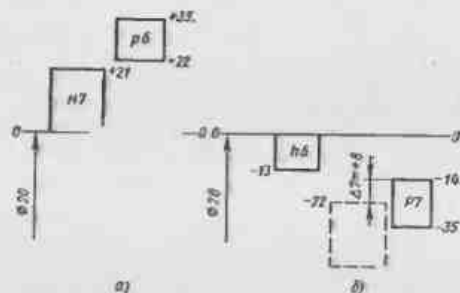
Для размеров свыше 500 до 3150 мм установлено сокращенное число полей допусков, и они смещены в сторону более грубых квалитетов по сравнению с рядами для размеров от 1 до 500 мм. Для этих размеров посадки с натягом предусмотрены только в системе отверстия.

В отдельных технически обоснованных случаях может возникнуть необходимость в применении полей допусков, не вошедших в основные

ряды. С целью упорядочения выбора таких полей допусков и соответствующих им числовых значений предельных отклонений в приложении к СТ СЭВ 144—75 установлены дополнительные поля допусков валов и отверстий.

Поля допусков для размеров менее 1 мм приведены в СТ СЭВ 144—75.

Посадки. Методика построения посадок в системах ISO и СЭВ отличается от методики системы ГОСТ. Системой ГОСТ устанавливается ряд посадок в каждом классе точности со смысловыми наименованиями (например, ходовая, глухая, горячая и т. д.) в зависимости от различных



1. Пример определения основных отклонений отверстий по специальному правилу:  
 а — посадка 20H7/p6; б — посадка 20P7/h6

по величине предельных зазоров или натягов. При переходе от одного класса к другому в посадках одного наименования примерно сохраняется характеристика посадки (например, наименьший зазор в посадках с зазором), но изменяется допустимое колебание зазора или натяга.

Смысловые названия, принятые в национальных системах (например, ходовая, глухая, горячая и т. д.), в системах ISO и ЕСДП СЭВ не применяются, так как эти названия не всегда отвечают действительному характеру соединения. Для сопрягаемых деталей устанавливаются величины основных отклонений (см. примеры на рис. 3). При выборе посадки с зазором в системе вала или в системе отверстия учитывается, что наименьший зазор равен основному отклонению (верхнему) для всех валов от *a* до *h* или основному отклонению отверстия (нижнему) от *A* до *H*.

Наибольший зазор равен наименьшему зазору плюс сумма допусков отверстия и вала заданных квалитетов.

При выборе посадки с натягом или переходной учитывается, что наибольший натяг равен верхнему отклонению вала в системе отверстия для валов от *j* до *zc* или нижнему отклонению отверстия в системе вала для отверстий от *J* до *ZC*. Наименьший натяг равен наибольшему минус сумма допусков отверстия и вала заданных квалитетов.

ЕСДП СЭВ установлены рекомендуемые посадки и выделены из них предпочтительные посадки: в системе вала — F8/h6, H7/h6, J7/h6, K7/h6, N7/h6, P7/h6, H8/h7, E9/h8, H8/h8, H11/h11; в системе отверстия — H7/e8, H7/f7, H7/g6, H7/h6, H7/j6, H7/k6, H7/m6, H7/p6, H7/r6, H7/s6, H8/e8, H8/k7, H8/h8, H8/d9, H9/d9, H11/d11, H11/h11. Унифика-

ция посадок позволяет обеспечить однородность конструктивных требований к соединениям и облегчить работу конструкторов по назначению посадок.

Как уже отмечалось в гл. 1, по экономическим соображениям посадки должны назначаться главным образом в системе отверстия, реже в системе вала. В соответствии с этим правилом в СТ СЭВ 144—75 предпочтительных посадок, т. е. посадок, образованных из предпочтительных полей допусков, в системе отверстия больше, чем в системе вала. В рекомендуемых и предпочтительных посадках точных квалитетов для размеров от 1 до 3150 мм допуск отверстия, как правило, на один, или на два квалитета больше допуска вала. Объясняется это худшими условиями отвода тепла, недостаточной жесткостью, повышенными износом и сложностью направления режущего инструмента для обработки отверстий, вследствие чего точное отверстие технологически получить труднее, чем вал. Увеличение допуска отверстия при сохранении допуска посадки повышает срок службы разверток и протяжек, так как при этом допускается больший износ по диаметру и большее число заточек. При малых же диаметрах иногда технологически труднее обработать точный вал, чем точное отверстие, поэтому в рекомендуемых посадках для размеров менее 1 мм допуски отверстия и вала приняты одинаковыми.

СТ СЭВ 144—75 в технически обоснованных случаях допускает применение посадок, отличающихся от рекомендуемых, но образованных из числа полей допусков валов и отверстий, предусмотренных этим стандартом. Однако и в этих случаях посадка должна образовываться или в системе отверстия, или в системе вала. При этом поля допусков отверстия и вала должны отличаться не более чем на два квалитета.

## 2. ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ И ПОСАДОК НА ЧЕРТЕЖАХ

Предельные отклонения линейных размеров указывают на чертежах условными (буквенными) обозначениями полей допусков или числовыми значениями, а также буквенными обозначениями полей допусков с одновременным указанием справа в скобках их числовых значений (рис. 4, а, б, в). В период внедрения ЕСДП СЭВ рекомендуется применять преимущественно третий способ.

Посадки и предельные отклонения размеров деталей, изображенных на чертеже, указывают двумя способами: 1) в виде дроби, в числителе которой — буквенное обозначение или буквенное с указанием справа в скобках числового значения предельных отклонений или только числовое значение предельных отклонений отверстия, а в знаменателе — аналогичное обозначение поля допуска вала (рис. 4, з, д); 2) приводят предельные отклонения только одной из сопрягаемых деталей (рис. 4, е). Знаком «х» отмечают размер «для справок». Под размером для справок понимают размер, не обрабатываемый по данному чертежу, например один из размеров замкнутой размерной цепи (размер замыкающего звена, предельные отклонения которого не указываются) или размер на сборочном чертеже, используемый в качестве присоединительного или установочного.

При указании предельных отклонений условными буквенными обозначениями их числовое значение необходимо обязательно указы-

вать в следующих случаях: а) для размеров, не включенных в ряды нормальных линейных размеров, например:  $41,5H8^{(+0,039)}$ ; б) при назначении предельных отклонений, условные обозначения которых не предусмотрены СТ СЭВ 144—75, например, для пластмассовой детали с предельными отклонениями по СТ СЭВ 179—75 (рис. 4, ж);

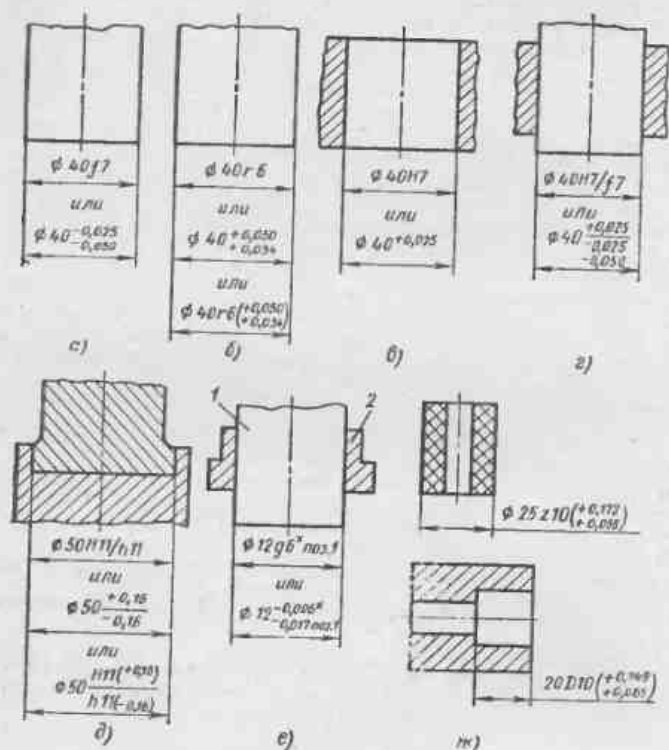


Рис. 4. Примеры обозначения полей допусков и посадок на чертежах

в) при назначении предельных отклонений размеров уступов с несимметричным полем допуска (рис. 4, ж).

Предельные отклонения следует назначать для всех размеров, представленных на рабочих чертежах, не исключая и несопрягаемые неотчетливые размеры. Если предельные отклонения для размера не назначены, то это может привести к лишним затратам (когда стремятся получить этот размер более точным, чем нужно) или к увеличению массы детали и перерасходу металла (когда допускают грубые отклонения от номинального размера).

Для участков поверхности с одинаковыми номинальными размерами, но с разными предельными отклонениями границы между ними накладывают сплошной тонкой линией, а номинальный размер с соответствующими предельными отклонениями указывают для каждого участка отдельно.

Точность гладких элементов металлических деталей, если для них отклонения не указываются непосредственно у размеров, а оговариваются общей записью, нормируется: 1) либо квалитетами (от 11-го до 13-го для размеров менее 1 мм и от 12-го до 17-го для размеров от 1 мм до 10 000 мм, обозначаемыми буквами IT; 2) либо классами точности (точный, средний, грубый и очень грубый), установленными СТ СЭВ 302—76. Допуски по классам точности обозначаются буквой I с индексом 1, 2, 3 или 4 для классов точности соответственно «точный», «средний», «грубый» и «очень грубый» ( $t_1, t_2, t_3, t_4$ ). Приняты обозначения:  $-IT$  — одностороннее предельное отклонение по установленному квалитету в минус (соответствует валу  $h$ );  $+IT$  — одностороннее предельное отклонение по установленному квалитету в плюс (соответствует отверстию  $H$ );  $-t$  — одностороннее предельное отклонение в минус и  $+t$  — одностороннее предельное отклонение в плюс по установленному классу точности СТ СЭВ 302—76. Для размеров элементов, не относящихся ни к валам, ни к отверстиям, назначают симметричные предельные отклонения  $\pm IT/2$  по одному из указанных выше классов точности, приведенных в СТ СЭВ 302—76. Допускается оговаривать неуказанные симметричные предельные отклонения по квалитетам ( $\pm \frac{IT}{2}$ ).

Числовые значения предельных отклонений по точному, среднему, грубому и очень грубому классам соответствуют квалитетам: 11 (при размерах менее 1 мм) и 12 соответствует класс точности «точный», 13 и 14 — класс «средний», 15 и 16 — класс «грубый», 17 — класс «очень грубый», они приведены в СТ СЭВ 302—76. Величины отклонений  $-t$ ,  $+t$  и  $\pm t/2$  приведены в указанном стандарте.

Неуказанные предельные отклонения углов назначаются симметричными:  $\pm \frac{AT16}{2}$  или  $\pm \frac{AT17}{2}$  по СТ СЭВ 178—75 в зависимости от точности линейных размеров.

Неуказанные предельные отклонения радиусов закруглений и фасок назначаются симметричными по 12—17 квалитетам или по указанным в СТ СЭВ 302—76 классам точности.

### 3. СОПОСТАВЛЕНИЕ ПОЛЕЙ ДОПУСКОВ И ПОСАДОК В СИСТЕМАХ ГОСТ И ЕСПД СЭВ ДЛЯ РАЗМЕРОВ ОТ 1 ДО 500 ММ

Из сопоставления и анализа полей допусков ГОСТ ЕСПД СЭВ можно сделать вывод, что большая часть полей допусков ГОСТ заменяется одним полем ЕСПД СЭВ. Примерно треть полей ГОСТ была заимствована из системы ISO и полностью соответствует полям ЕСПД СЭВ для размеров до 180 мм. Если взять все поля ГОСТ для размеров от 1 до 500 мм, то в 53,6% случаев заменяющее поле ЕСПД СЭВ полностью совпадает с полем ГОСТ или вписывается в него; при таких заменах взаимозаменяемость полностью обеспечивается; в 21,4% случаев заменяющее поле ЕСПД СЭВ выходит за границу поля ГОСТ не более чем на 10% от

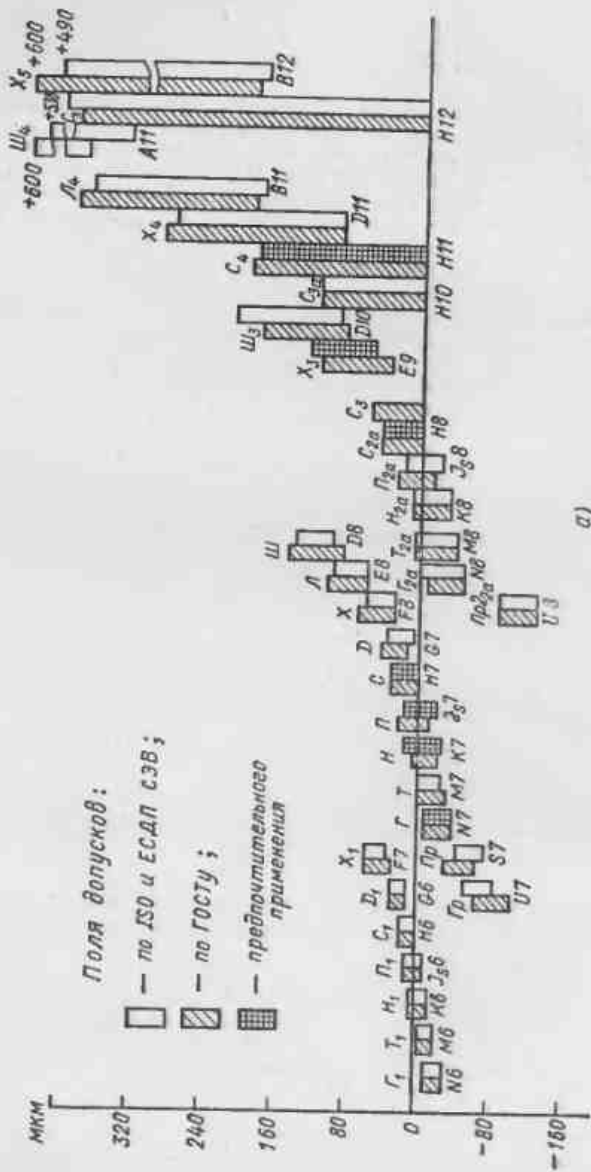


Рис. 5. Сопоставление полей допусков по ГОСТ с полями допусков по ЕСПД СЭВ: а — отверстия (Ø 60 мм); б — валов (Ø 60 мм)



величины допуска по ГОСТ, взаимозаменяемость при такой замене полей практически обеспечивается; в 25% случаев заменяющее поле ЕСДП СЭВ выходит за границу поля ГОСТ более чем на 10%; в большинстве из этих случаев взаимозаменяемость также практически обеспечивается, но требуется детальный анализ замены для каждого конкретного случая.

Сопоставление и замена посадок в системах ГОСТ и ЕСДП СЭВ облегчается тем, что в обеих системах применяются посадки в системе отверстия и в системе вала при одинаковом расположении полей допусков основного отверстия и основного вала. В общем взаимозаменяемость посадок считается хорошей, если для случая выхода зазора (натяга) посадки из ЕСДП СЭВ за пределы поля допуска посадки ГОСТ относительная разность предельных зазоров (натягов) не превышает 10% от допуска посадки ГОСТ, а для случая, когда допуск посадки из ЕСДП СЭВ меньше допуска посадки ГОСТ, эта разность не должна превышать 20%.

Сопоставление полей допусков по ГОСТ с полями допусков по ЕСДП СЭВ представлена на рис. 5.

О замене посадок ГОСТ посадками по стандарту СЭВ см. «Рекомендации по внедрению СТ СЭВ 144—75 и СТ СЭВ 145—75».

При замене посадок необходимо стремиться к получению дополнительного запаса точности (запаса на износ) деталей и дополнительного запаса прочности соединений.

Приведенные данные свидетельствуют о технической возможности перехода нашей промышленности на Единую систему допусков и посадок (ЕСДП СЭВ), основанную на системе ISO.

#### 4. ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ДОПУСКОВ И ПОСАДОК

В настоящее время применяют три метода выбора допусков и посадок.

Метод прецедентов (метод аналогов) заключается в том, что конструктор отыскивает в однотипных или других машинах, ранее сконструированных и находящихся в эксплуатации, случаи применения составной части (узла), подобной проектируемой, и определяет допуск и посадку. Этот метод приемлем только в случае полной тождественности составных частей (узлов) при условии, что оптимальность выбранных допусков и посадок проверена экспериментом и подтверждена производственными испытаниями.

Метод подобия является развитием метода прецедентов. Он возник в результате классификации деталей машин по конструктивным и эксплуатационным признакам и выпуска справочников с примерами применения посадок. Для выбора допусков и посадок по этому методу нужно установить аналогично конструктивных признаков и условий эксплуатации проектируемого узла с признаками, указанными в справочниках.

Общим недостатком методов прецедентов и подобия является сложность определения признаков однотипности и подобия, а следовательно возможность ошибочного выбора допусков и посадок.

Расчетный метод является наиболее обоснованным методом выбора допусков и посадок.

Изготовление деталей с уменьшенными допусками связано с повышением себестоимости. Но при этом обеспечиваются высокая точность сопряжений, постоянство их характера в большой партии и более высокие эксплуатационные показатели изделия в целом.

Изготовление деталей по расширенным допускам проще, не требует точного оборудования и отделочных технологических процессов, не снижает точность и, следовательно, долговечность машин.

В связи с этим перед конструкторами, технологами и метрологами всегда стоит задача — рационально, на основе технико-экономических расчетов разрешать противоречия между эксплуатационными требованиями и технологическими возможностями, исходя в первую очередь из выполнения эксплуатационных требований.

Гарантированный запас работоспособности машин и других изделий [22, 24]. Как известно, серийно изготовленные машины и другие изделия в большинстве случаев выходят из строя не из-за разрушения, а из-за потери работоспособности, вызываемой снижением точности их рабочих органов. Для изделий с механическими кинематическими связями потеря точности связана с износом деталей. С потерей точности ответственных деталей, соединений и кинематических пар резко ухудшаются эксплуатационные показатели машин, приборов и других изделий, что и является причиной изъятия их из эксплуатации. На многих заводах нашей страны стремятся к тому, чтобы для ответственных изделий создавался технологический запас точности, т. е. чтобы отношение допуска  $T$  к фактическому полю рассеяния было больше единицы. Станкостроительные заводы нашей страны поставляют новые станки по стандартным нормам, в которых установлены отклонения, уменьшенные на 40—50% по сравнению с отклонениями по стандартным нормам точности.

Для того чтобы машины, приборы и другие изделия сохранили эксплуатационные показатели в заданных пределах к концу срока их службы (капитального ремонта), необходима такая система расчета точности, которая обеспечивала бы гарантированный запас точности функциональных параметров и ответственных соединений, а следовательно, и эксплуатационных показателей изделий. Для этого устанавливают максимальные допуски как на функциональные размеры несопрягаемых поверхностей (например, на диаметры сопл пневмо- и гидросистем, жиклеров карбюраторов и т. п.), так и на посадки для ответственных соединений. Величины допусков и расположение полей допусков назначают исходя из допустимых отклонений эксплуатационных показателей изделия и соответственно называют функциональными допусками размера ( $T_F$ ) и функциональным допуском посадки (например, для посадки с зазором  $T_{FS}$ ).

Допуск  $T_F$  для функциональных размеров несопрягаемых поверхностей (рис. 6, а) равен разности между наибольшим и наименьшим допустимыми значениями этого размера, определенными исходя из допустимого изменения эксплуатационных показателей изделия:

$$T_F = D_{\max} F - D_{\min} F \quad (3)$$

Функциональный допуск посадки с зазором  $T_{FS}$  равен разности между наибольшим и наименьшим допустимыми зазорами, определенными исходя из допустимого изменения эксплуатационных показателей машины или ее части (узла):

$$T_{FS} = S_{\max} F - S_{\min} F \quad (4)$$

Допуск функциональных размеров  $T_F$  несопрягаемых поверхностей и функциональный допуск посадки с зазором  $T_{FS}$  необходимо делить на две части. Одна часть предназначена для создания запаса точности (например, запаса на износ сопл или на износ деталей в трущихся

парах), необходимого для сохранения требуемого уровня эксплуатационных показателей изделия в процессе его длительной эксплуатации. Назовем эту часть эксплуатационным допуском ( $T_E$  и  $T_{ES}$ ). Эксплуатационный допуск зазора ( $T_{ES}$ ), в свою очередь, делится на эксплуатационный допуск отверстия  $T_{ED}$  и эксплуатационный допуск вала  $T_{Ed}$ . При этом учитываются скорость потери точности отверстием и валом и трудности восстановления их точности при ремонте. Другая часть функционального допуска размера идет на компенсацию погрешностей изготовления  $T_k$ . Для посадки с зазором (рис. 6, б) эта часть в общем случае идет на компенсацию погрешностей изготовления деталей  $\Delta_{исг}$  ( $\Delta_{исг} < TD +$

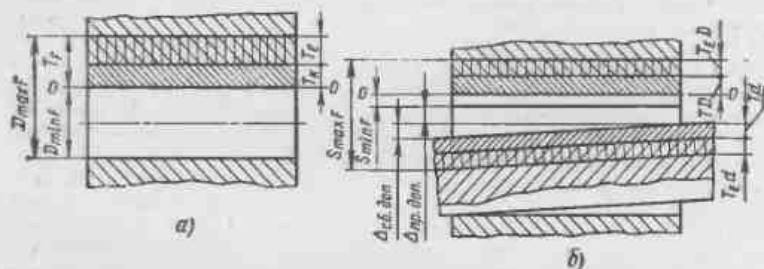


Рис. 6. Схемы к расчету функциональных допусков

$+ T_d$ ), погрешностей сборки узла или изделия в целом и его регулировку  $\Delta_{сб}$ , а также на компенсацию прочих погрешностей  $\Delta_{пр}$ . Эту часть  $T_F$  и  $T_{FS}$  назовем конструктивным допуском  $T_k$  и  $T_k S$ . Таким образом,  $T_k S = TD + T_d + \Delta_{сб} + \Delta_{пр}$ .

После определения допустимых величин составляющих погрешностей, для компенсации которых предназначен допуск  $T_k S$ , устанавливаются посадка и допуски на изготовление каждой из соединяемых деталей (т. е.  $TD$  и  $T_d$ ).

Сумма эксплуатационных допусков  $T_{ED} + T_{Ed}$  в подвижных соединениях или кинематических парах определяет эксплуатационный допуск зазора, величину которого нужно рассчитывать исходя из заданной долговечности и допустимого изменения других эксплуатационных показателей изделия.

Запас точности целесообразно характеризовать коэффициентом запаса точности  $K_T$ , определяемым отношением допускаемой погрешности детали, соединения, составной части машины в конце срока их эксплуатации к погрешности новых машин, составных частей, соединений и деталей. Например, если радиальное биение шпинделя нового шлифовального станка равно 0,005 мм, а допускаемое биение в конце срока эксплуатации (до ремонта) станка данного класса точности равно 0,01 мм, то  $K_T = \frac{0,01}{0,005} = 2$ .

Для подвижных соединений  $K_T$  равен отношению максимального допуска посадки  $T_{FS}$  к конструктивному допуску посадки  $T_k S$ , который используется для компенсации всех погрешностей, в том числе и погрешностей изготовления, сборки и измерения.

Для частного случая, когда  $\Delta_{сб}$  и  $\Delta_{пр}$  равны нулю,

$$K_T = \frac{S_{\max F} - S_{\min F}^*}{TD + T_d} \quad (5)$$

Величина коэффициента запаса точности  $K_T$  зависит от эксплуатационного назначения изделия и допустимого снижения его начальной точности, от намечаемого срока службы, характера изменения функциональных параметров и эксплуатационных показателей в процессе работы изделия и других факторов.

Запас точности нужно устанавливать для всех машин, приборов и других изделий. Он должен создаваться по каждому функциональному параметру, влияющему на эксплуатационные показатели изделия. Например, для поршневых компрессоров необходим запас точности зазора в сопряжении поршень—цилиндр, так как этот зазор влияет на производительность и удельную мощность компрессора. В тех случаях, когда функциональный размер является одновременно замыкающим (или исходным), точность его определяется точностью составляющих размеров, входящих в соответствующую размерную цепь. Значит, необходимо создавать запас точности и для составляющих размеров, величина которых изменяется в процессе эксплуатации. Запас точности нужно устанавливать также для каждого эксплуатационного показателя, характеризующего точность машины или другого изделия. Это особенно важно для металлорежущих станков и измерительных приборов.

При разработке норм точности, по которым осуществляется окончательная приемка изделий, целесообразно устанавливать значение допускаемой погрешности нормируемого параметра для нового изделия и для изделия в конце срока его эксплуатации (до ремонта машины или новой юстировки прибора). Запас точности следует создавать не только по геометрическим параметрам, но и по электрическим, упругим и другим функциональным параметрам, изменяющимся в процессе работы изделия. Например, нужно предусматривать запас точности упругой характеристики чувствительных элементов приборов, длины волны резонансных электромагнитных колебаний в резонаторных системах, определяющих качество электровакуумных приборов и т. д.

## 5. МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ВЫБОРА ПОСАДОК

Расчет и выбор посадок с зазором [22; 24]. Наиболее распространенным типом ответственных подвижных соединений являются подшипники скольжения, работающие со смазкой. Для обеспечения наибольшей долговечности необходимо, чтобы при установившемся режиме подшипники работали с минимальным износом. Это достигается при жидкостном трении, когда поверхности цапфы и вкладыша подшипника полностью разделены слоем смазки и трение между металлическими поверхностями заменяется внутренним трением в смазочной жидкости. Установлено, что жидкостное трение создается лишь при зазоре  $S$ , лежащем в определенном диапазоне диаметральных зазоров  $S$ , ограниченном наименьшим  $S_{\min F}$  и наибольшим  $S_{\max F}$  функциональными зазорами (рис. 7).

\* Если  $S_{\min T} > S_{\min F}$ , то при расчете  $K_T$  по формуле (5) берут значение  $S_{\min T}$ .

Если после сборки диаметральный зазор в соединении равен  $S_{\min F}$ , то после приработки и некоторого времени работы механизма этот зазор достигает величины, соответствующей величине оптимального зазора  $S_{\text{opt}}$  (рис. 7). При дальнейшем износе трущихся деталей зазор увеличивается, и когда он будет близок или равен  $S_{\max F}$ , работа механизма должна быть прекращена из-за снижения его эксплуатационных показателей и возможности быстрого износа деталей.

Существующий метод расчета посадок с зазором сводится к определению  $S_{\text{opt}}$ , при котором обеспечивается наибольшая толщина слоя смазки  $h_{\max}$ . По  $S_{\text{opt}}$  подбирают стандартную посадку. Однако указанного расчета недостаточно. Для повышения долговечности необходимо создавать гарантированный запас на износ, рассчитывая его по предлагаемому методу [22; 24]. Для этого следует определить наименьший зазор  $S_{\min F}$ , при котором обеспечивается жидкостное трение ( $h = h_{\text{жт}}$ ), затем по  $S_{\min F}$  выбрать посадку и найти наибольший зазор  $S_{\max F}$ , при котором еще сохраняются жидкостное трение и работоспособность подшипника. Запас на износ равен

$$(S_{\max F} - S_{\min F})^* = (TD + Td). \quad (6)$$

Рис. 7. Вид зависимости наименьшей толщины слоя смазки  $h$  от диаметрального зазора  $S$

Зная величину запаса на износ и скорость изнашивания сопрягаемых деталей, можно определить время надежной работы соединения.

**Пример.** [17]. Для соединения, работающего с частотой вращения вала  $n = 600$  об/мин под нагрузкой  $R = 6000$  кгс при заданной смазке, материале и шероховатости поверхностей деталей, диаметру  $D = 150$  мм и длине подшипника  $l = 180$  мм по существующему методу определена посадка 150H7/d7 (рис. 8, а), по предлагаемому методу — посадка 150H7/e7 (рис. 8, б). В обоих случаях наибольший функциональный диаметральный зазор  $S_{\max F} = 364$  мкм (рис. 8) [22].

Из рис. 8 следует, что для посадки 150H7/d7 запас на износ [см. формулу (6) и список к формуле (5)] равен

$$S_{\max F} - S_{\min F} - (TD + Td) = 364 - 145 - 80 = 139 \text{ мкм.}$$

Аналогичным же образом получаем запас на износ для посадки 150H7/e7, равный  $364 - 85 - 80 = 199$  мкм.

Таким образом, по предлагаемому методу расчета посадок создается дополнительный запас на износ, равный  $199 - 139 = 60$  мкм. При годовом износе деталей, равном 60 мкм, долговечность соединений увеличивается примерно на один год без увеличения трудоемкости изготовления деталей.

**Примерные области применения некоторых рекомендуемых посадок с зазором** (на примере посадок в системе отверстия). Посадки  $H/h$  ( $S_{\min} = 0$  и  $S_{\max} = TD + Td$ ) назначают преимущественно для пар с точным центрированием и направлением, в которых допускается проворачивание и продольное перемещение деталей при регулировке, а иногда и при работе. Эти посадки можно использовать вместо переходных, в том числе для сменных частей. Для вращающихся деталей их применяют только при малых скоростях и нагрузках.

Посадка  $H6/h5$  — для точного центрирования (например, пиноли в корпусе задней бабки токарного станка или измерительных зубчатых колес на шпинделях зубоизмерительных приборов).

Посадка  $H7/h6$  (предпочтительная) — при менее жестких требованиях к точности центрирования (например, для установки сменных зубчатых колес в станках, корпусов под подшипники качения в станках, автомобилях и других машинах, поршня в цилиндре пневматической дрели, сменных кондукторских втулок и т. п.).

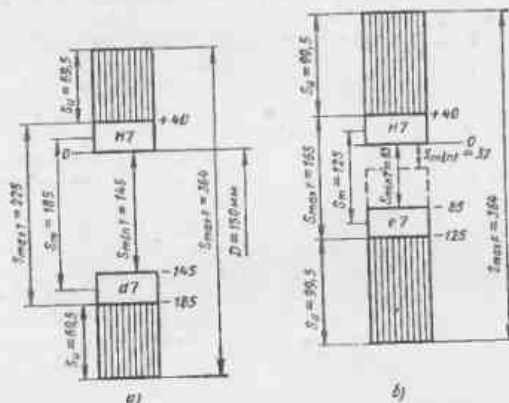


Рис. 8. Схемы подов допусков и примеру расчета запаса на износ посадок с зазором (отклонения в микрометрах)

Посадка  $H8/h7$  (предпочтительная) — для центрируемых поверхностей в тех случаях, когда можно расширить допуски на изготовление при несколько пониженных требованиях к соосности.

Посадки  $H5/g4$ ;  $H6/g5$  и  $H7/g6$  (предпочтительная) дают самый наименьший и гарантированный зазор из всех посадок с зазором. Их применяют для точных подвижных соединений, требующих гарантированного, но небольшого зазора для обеспечения точного центрирования (например, золотника в пневматической сверлильной машине, шпинделя в опорах делительной головки, в плунжерных парах и т. п.).

Посадки  $H7/f7$  (предпочтительная),  $H8/f8$  и другие подобные посадки 6, 8 и 9-го квалитетов являются наиболее распространенными из всех посадок с зазором. Например, посадку  $H7/f7$  применяют в подшипниках скольжения малых и средних по мощности электродвигателей, поршневых компрессорах, в коробках скоростей станков, в центробежных насосах, в двигателях внутреннего сгорания и других машинах.

Посадки  $H7/e8$ ,  $H8/e8$  (предпочтительные),  $H7/e7$  и другие подобные посадки 8 и 9-го квалитетов обеспечивают легкоподвижное соединение при жидкостном трении, их применяют для быстровращающихся валов больших машин. Например, первые две посадки применяют в турбогенераторах и электромоторах, работающих с большими нагрузками. Посадку  $H9/e9$  применяют для крупных подшипников в тяжелом машиностроении, для свободно вращающихся на валах зубчатых колес и для

\* См. список к формуле (5).



других деталей, включаемых муфтами сцепления, для центрирования крышек цилиндров. Чтобы увеличить долговечность и надежность машины, посадку 9-го качества следует заменить аналогичной посадкой 8-го качества.

Посадка  $H8/d9$ ,  $H9/d9$  (предпочтительные) и другие подобные посадки 7, 10 и 11-го качества применяют сравнительно реже. Например, посадку  $H7/d8$  применяют при больших скоростях вращения и относительно малых давлениях в крупных подшипниках, а также для сопряжений поршень—цилиндр в компрессорах, посадку  $H9/d9$  — при невысокой точности механизмов.

Посадки  $H7/c8$  и  $H8/c8$  дают наименьшие гарантированные зазоры значительной величины, их используют для соединений при невысоких требованиях к точности центрирования. Наиболее часто эти посадки используют в соединениях деталей с неодинаковым коэффициентом линейного расширения материала, работающих при повышенных рабочих температурах (в паровых турбинах, двигателях, турбокомпрессорах, турбовозах и других машинах, у которых в рабочем состоянии зазоры в соединениях значительно уменьшаются). Уменьшение зазора в этом случае происходит вследствие того, что вал нагревается и расширяется больше, чем вкладыш подшипника.

Расчет и выбор переходных посадок. Переходные посадки  $H/j_5$ ,  $H/k$ ,  $H/m$ ,  $H/n$  используют в неподвижных разъемных соединениях для центрирования деталей, которые могут периодически передвигаться вдоль вала или быть сменными. Эти посадки характеризуются малыми зазорами и натягами, что, как правило, позволяет собирать детали при небольших усилиях (вручную или при помощи молотка). Для гарантии неподвижности одной детали относительно другой их дополнительно крепят шпонками, стопорными винтами и другими крепежными средствами.

Сочетание высокой точности центрирования с относительной легкостью сборки и разборки соединения возможно лишь при небольших натягах и зазорах. Вследствие этого переходные посадки предусмотрены только в 4—8 качествах. Обычно требуемая точность вала на один класситет выше точности отверстия.

В переходных посадках при сочетании наибольшего предельного размера вала и наименьшего предельного размера отверстия всегда получается наибольший натяг, при сочетании наибольшего предельного размера отверстия и наименьшего предельного размера вала — наибольший зазор.

Выбор переходных посадок определяется требуемыми точностью центрирования и легкостью сборки и разборки соединения. Точность центрирования определяется величиной  $F_r$  радиального биения втулки на валу (или вала во втулке), возникающего при зазоре и одностороннем смещении вала в отверстии. Погрешности формы и расположения поверхностей сопрягаемых деталей, снятие неровностей, а также износ деталей при повторных сборках и разборках, будут увеличивать радиальное биение. Поэтому для компенсации указанных погрешностей, а также для создания запаса точности необходимо наибольший допустимый зазор в соединении определять по формуле

$$S_{\max} = \frac{F_r}{K_T}, \quad (7)$$

где  $K_T = 2 \div 5$  — коэффициент запаса точности.

При выборе переходных посадок надо учитывать вероятность получения в них зазоров и натягов.

Пример. Для соединения выбрана посадка  $60H7/m6$  (рис. 9). Возможен натяг в пределах от 0 до 30 мкм или зазор — от 0 до 19 мкм. Будем считать, что рассеяние размеров отверстия и вала, а также зазоров (натягов) подчиняется закону нормального распределения и допуски детали равен величине поля рассеяния. Тогда среднее квадратическое посадки, т. е.

$$\sigma_{\text{пос}} = \sqrt{\sigma_{\text{отв}}^2 + \sigma_{\text{вала}}^2} = \sqrt{5^2 + 3,17^2} = 5,92 = 6 \text{ мкм.}$$

$$\text{где } \sigma_{\text{отв}} = \frac{TD}{6} = \frac{30}{6} = 5 \text{ мкм; } \sigma_{\text{вала}} = \frac{19}{6} = 3,17 \text{ мкм.}$$

Среднее отклонение отверстия (см. рис. 9) равно  $\frac{30+0}{2} = +15 \text{ мкм;}$

среднее отклонение вала равно  $\frac{30+11}{2} = +20,5 \text{ мкм.}$  Следовательно, в среднем посадка дает натяг, равный  $20,5 - 15 = 5,5 \text{ мкм.}$  Эту величину следует принять за центр распределения зазоров — натягов. Отсчитывая от нее величины  $\pm 3\sigma_{\text{пос}}$  получим (считая натяги отрицательными величинами, а зазоры — положительными) более вероятный предельный натяг, равный  $5,5 - 5,5 \cdot 18 = -23,5 \text{ мкм}$  (вместо 30 мкм) и предельный зазор, равный  $5,5 + 5,5 \cdot 18 = +12,5 \text{ мкм}$  (вместо 19 мкм). Дальнейший расчет [22; 24] показывает, что вероятность получения натягов в соединении равна  $0,8186 = 81,86\%$ , а вероятность получения зазоров равна  $0,1814 = 18,14\%$ .

При высоких требованиях к точности центрирования, а также при больших, особенно ударных нагрузках и вибрациях, назначают посадки с большим средним натягом, т. е.  $H/n$ ,  $H/m$ . Чем чаще требуется разборка (сборка) узла, чем она менее удобна и чем больше опасность повреждения других деталей соединения (особенно подшипников качения), тем с меньшим натягом следует выбирать переходные посадки, т. е. применять  $H/k$ ,  $H/j_5$ .

Посадки  $H/n$  дают наибольшие средние натяги из всех переходных посадок. Эти посадки назначают в соединениях при передаче значительных усилий, наличии ударов и вибраций, а также для тонкостенных втулок, не позволяющих применять крепежные детали; собирают при помощи прессы. Эти посадки назначают преимущественно для соединений, разбираемых только при капитальном ремонте изделия.

Посадки  $H/m$  создают меньшие средние натяги, чем  $H/n$ , однако разъем соединений все же осуществляется со значительными усилиями. Поэтому такие посадки назначают при значительных статических или больших динамических нагрузках, когда разборка-сборка соединения производится редко.

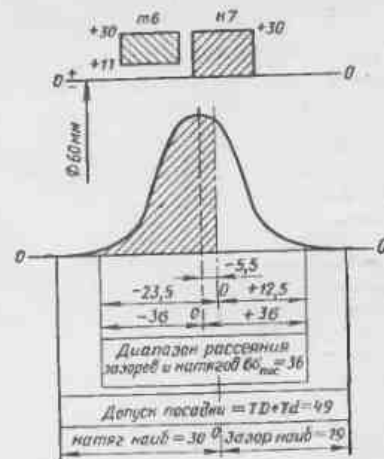


Рис. 9. К расчету вероятности получения соединений с натягом в посадке  $60H7/m6$

Посадки  $H/k$  создают средние зазоры, близкие к нулю, что обеспечивает хорошее центрирование. Их назначают, например, для посадки на валах (со шпонками) шкивов, зубчатых колес, муфт сцепления.

Посадки  $H/j_5$  дают в соединении преимущественно зазор, их применяют для деталей часто разбираемых узлов, а также в тех случаях, когда сборка затруднена. Иногда эти посадки применяют вместо  $H/k$  с целью повышения точности центрирования.

**Расчет и выбор посадок с натягом [22; 24].** Посадки с натягом предназначены для получения неподвижных неразъемных соединений без дополнительного крепления деталей, хотя иногда и в этом случае используются шпоночные, штифтовые и другие средства крепления, например при посадке маховика на коническом конце коленчатого вала двигателя. Относительная неподвижность деталей обеспечивается за счет сил сцепления (трения), возникающих на контактирующих поверхностях вследствие их деформации, создаваемой натягом при сборке соединения.

По существующему методу, пользуясь известными зависимостями Ламэ, по воспринимаемой соединением осевой силе  $P$  или крутящему моменту  $M_{кр}$ , определяют величину натяга. После внесения соответствующих поправок по этому натягу определяют ближайшую стандартную посадку. Далее проверяют прочность соединяемых деталей при наибольшем табличном натяге и определяют запас прочности соединяемых деталей. Экспериментальные исследования показали, что при увеличении осевой силы или крутящего момента детали соединения не разрушаются, а разъединяются, поэтому создаваемый при таком методе расчета запас прочности соединяемых деталей является фиктивным, так как он в дальнейшем не используется, что и является основным его недостатком. Для создания запаса работоспособности посадку необходимо выбирать по предлагаемому методу, т. е. по наибольшему допустимому натягу, определенному исходя из прочности соединяемых деталей.

**Пример.** Для соединения втулки и полого вала (рис. 10, а), воспринимающей осевую силу  $P = 40\ 000$  кгс при заданных материалах соединяемых деталей, шероховатости их поверхностей и рабочей температуре, были опреде-

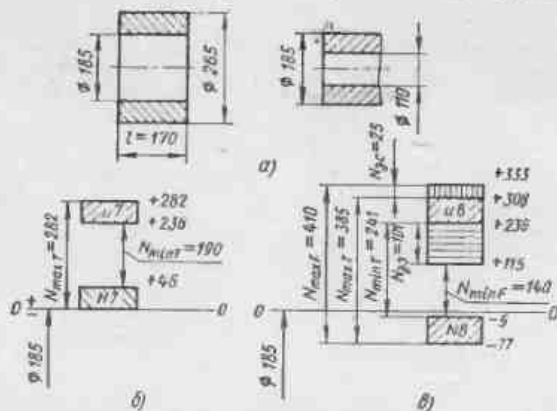


Рис. 10. Эскизы к расчету посадок с натягом

лены посадки: по существующему методу  $185H7/u7$  (рис. 10, б), по предлагаемому  $185N8/u8$  (рис. 10, в). Наибольший допустимый натяг, исходя из прочности соединяемых деталей,  $N_{\max} F = 410$  мкм, а наименьший натяг, необходимый для обеспечения прочности соединения,  $N_{\min} F = 140$  мкм. По предлагаемому методу расчета посадок (рис. 10, в) создается эффективный запас прочности соединения при эксплуатации, определяемый натягом:

$$N_{23} = N_{\min} T - N_{\min} F = 241 - 140 = 101 \text{ мкм.}$$

и запас прочности деталей при сборке, определяемый натягом:

$$N_{3c} = N_{\max} F - N_{\max} T = 410 - 385 = 25 \text{ мкм.}$$

По существующему методу  $N_{3c}$  и  $N_{23}$  не определялись.

Часть допуска натяга, идущая на запас прочности при сборке соединения  $\Delta_{3c}$  (технологический запас прочности), всегда должна быть меньше  $\Delta_{23}$ , так как она нужна только для случая возможного понижения прочности материала деталей и повышения усилий запрессовки из-за перекосов соединяемых деталей, колебания коэффициента трения и температуры.

Можно считать, что новый метод расчета посадок с гарантированным натягом обеспечивает повышение долговечности соединений не менее чем на 25% по сравнению с существующим методом расчета этих посадок.

Соединения с натягом, детали которых испытывают упругую деформацию, допускают разборку и повторную сборку, но при этом из-за снятия неровностей прочность соединений несколько уменьшается. Величину потери прочности определяют экспериментально [17, 24].

В процессе эксплуатации прочность соединений с натягом в большинстве случаев снижается, что объясняется влиянием ползучести и релаксации напряжений.

**Пример.** Соединение втулки  $D = l = 30$  мм из чугуна СЧ 18—36 с валом из брассы Бр. АЖ 9-4 с натягом  $N = 30$  мкм имело начальную прочность, равную 7845 Н. После 5000 ч работы при температуре  $+100^\circ\text{C}$  прочность соединения снизилась до 3355 Н. Но путем сочетания различных материалов, изменением давления, температуры и других факторов, вызывающих диффузию и скватывание материалов, можно увеличить коэффициент трения сцепления и повысить прочность соединения. Например, если в предыдущем примере вал изготовить из стали 45, то при повышении температуры эксплуатации узла до  $200^\circ\text{C}$  с прочностью соединения после 5000 ч работы увеличится с 23 130 Н до 28 030 Н.



## ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ГЛАДКИХ И РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

Благодаря ряду ценных свойств (низкий коэффициент трения, малый вес, возможность использования прогрессивных способов переработки в изделия и др.) пластмассы получили широкое распространение в машиностроении.

Однако особенности их физико-механических свойств, оказывающих влияние на величины зазора и натяга в соединении, привели к необходимости разработки специальных нормативных материалов по допускам для гладких и резьбовых деталей из пластмасс.

Для регламентирования допусков и посадок для гладких деталей разработан специальный СТ СЭВ 179—75.

Допуски на резьбовые детали из пластмасс регламентированы СТ СЭВ 1158—78. Этот стандарт соответствует рекомендации и ИСО (Р965).

Поля допусков, установленные стандартом, относятся к следующим исходным условиям: температура 20° С и относительная влажность воздуха 65%.

### 1. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ГЛАДКИХ ИЗДЕЛИЙ

Поля допусков деталей из пластмасс регламентированы СТ СЭВ 179—75 и охватывают диапазон размеров от 1 до 500 мм.

В соединениях пластмассовых деталей в ряде случаев требуются значительно большие величины зазоров и натягов по сравнению с посадками металлических деталей. Поэтому для посадок деталей из пластмасс предусмотрен ряд полей допусков, не вошедших в СТ СЭВ 144—75, но образованных на основе СТ СЭВ 145—75. К ним относятся:  $h8$ ,  $h9$ ,  $h10$ ,  $x10$ ,  $z10$ ,  $z10$ ,  $k11$ ,  $zc11$  — для валов и  $N9$ ,  $N10$ ,  $X10$ ,  $Z10$ ,  $ZA10$ ,  $ZB10$ ,  $N11$ ,  $ZC11$  — для отверстий (см. табл. 3 и табл. 4 СТ СЭВ 179—75). Кроме того, для деталей из пластмасс в технически обоснованных случаях можно применять дополнительные поля допусков, не предусмотренные СТ СЭВ 145—75 и СТ СЭВ 144—75.

К дополнительным полям допусков относятся поля для валов:  $y10$ ,  $zc10$ ,  $ay11$ ,  $az11$ ,  $ze11$ ,  $h18$ ,  $js18$  и для отверстий:  $Y10$ ,  $ZC10$ ,  $AY11$ ,  $AZ11$ ,  $ZE11$ ,  $H18$  (см. табл. 8 и табл. 9 СТ СЭВ 179—75). Поля допусков  $IT18$ , как правило, не предназначены для посадок.

Посадки в соединениях пластмассовых деталей с пластмассовыми или с металлическими деталями рекомендуется выбирать в системе отверстия или в системе вала (табл. 1).

В соединениях деталей из пластмасс и металла за основную деталь целесообразно принимать металлическую с целью использования стандартных режущих инструментов при ее обработке.

### 1. Рекомендуемые посадки для деталей из пластмасс

Основное отверстие	Основные отклонения валов *						
	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>n</i>
	Посадки в системе отверстия *						
<i>H8</i>	$\frac{H8}{c8}$	$\frac{H8}{d8}$	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H8}{f8}$	$\frac{H8}{h8}$	$\frac{H8}{k8}$	$\frac{H8}{n8}$
<i>H9</i>		$\frac{H9}{j9}$	$\frac{H9}{e9}$	$\frac{H9}{f9}$	$\frac{H9}{h9}$	$\frac{H9}{k9}$	
<i>H10</i>		$\frac{H10}{d10}$			$\frac{H10}{h10}$	$\frac{H10}{k10}$	
<i>H11</i>	$\frac{H11}{c11}$	$\frac{H11}{d11}$			$\frac{H11}{h11}$	$\frac{H11}{k11}$	
<i>H12</i>					$\frac{H12}{h12}$		
<i>H13</i>					$\frac{H13}{h13}$		
Основной вал	Основные отклонения отверстий **						
	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>H</i>	<i>N</i>	<i>U</i>
	Посадки в системе вала **						
<i>h8</i>		$\frac{D8}{h8}$	$\frac{E8}{h8}$	$\frac{F8}{h8}$	$\frac{H8}{h8}$	$\frac{N8}{h8}$	$\frac{U8}{h8}$
<i>h9</i>		$\frac{D9}{h9}$	$\frac{E9}{h9}$	$\frac{F9}{h9}$	$\frac{H9}{h9}$	$\frac{N9}{h9}$	
<i>h10</i>		$\frac{D10}{h10}$			$\frac{H10}{h10}$	$\frac{N10}{h10}$	
<i>h11</i>	$\frac{C11}{h11}$	$\frac{D11}{h11}$			$\frac{H11}{h11}$	$\frac{N11}{h11}$	
<i>h12</i>					$\frac{H12}{h12}$		
<i>h13</i>					$\frac{H13}{h13}$		

\* Кроме указанных СТ СЭВ 179—75, предусмотрены еще следующие посадки:  $H8/x8$ ;  $H8/z8$ ;  $H9/x10$ ;  $H9/y10$ ;  $H9/z10$ ;  $H9/za10$ ;  $H9/zb10$ ;  $H10/y10$ ;  $H10/z10$ ;  $H10/za10$ ;  $H10/zb10$ ;  $H10/zc10$ ;  $H10/zc11$ ;  $H10/ze11$ ;  $H11/ay11$ ;  $H11/az11$ ;  $H11/aj11$ ;  $H11/b11$ ;  $H11/ze11$ ;  $H11/zc11$ ;  $H11/ze11$ ;  $H12/b12$ .

\*\* Кроме указанных СТ СЭВ 179—75, предусмотрены еще следующие посадки:  $X10/h9$ ;  $Y10/h9$ ;  $Z10/h9$ ;  $ZA10/h9$ ;  $ZB10/h9$ ;  $Y10/h10$ ;  $Z10/h10$ ;  $ZA10/h10$ ;  $ZB10/h10$ ;  $ZC10/h10$ ;  $ZC11/h10$ ;  $ZE11/h10$ ;  $AY11/h11$ ;  $AZ11/h11$ ;  $A11/h11$ ;  $B11/h11$ ;  $ZC11/h11$ ;  $B12/h12$ .

Кроме посадок, указанных в табл. 1, возможно образование других посадок из полей допусков валов и отверстий; в частности, в соединениях пластмассовых деталей друг с другом, требующих, как правило, больших зазоров или натягов, чем в соединениях пластмассовых деталей с металлическими, могут быть целесообразны посадки, образованные полями допусков отверстий, взятыми из системы вала, и полями допусков валов, взятыми из системы отверстия.

Для сопрягаемых деталей ответственного назначения рекомендуются применять квалификации:  $IT7-IT11$ , для сопрягаемых деталей неответственного назначения —  $IT12-13$ ; для несопрягаемых деталей неответственного назначения (для размеров с неуказанными допусками) —  $IT14-18$ . Значение допусков для  $IT18$  приведено в табл. 7 СТ СЭВ 179-75.

## 2. ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

Точность изготовления деталей из пластмасс литьем под давлением и прессованием. При изготовлении деталей из пластмасс литьем под давлением или прессованием в металлических формах отдельные элементы одной и той же детали имеют различную точность. С наиболее высокой точностью изготавливают элементы деталей, оформляемые в одной части формы (только в матрице или только пуансоном) (например, размеры типа  $A_1$  на рис. 1). Размеры элементов деталей, зависящие от подвижных частей формы, а также размеры элементов деталей, оформляемые в двух и более частях формы, характеризуются большей погрешностью (например, размеры типа  $A_3$  на рис. 1).

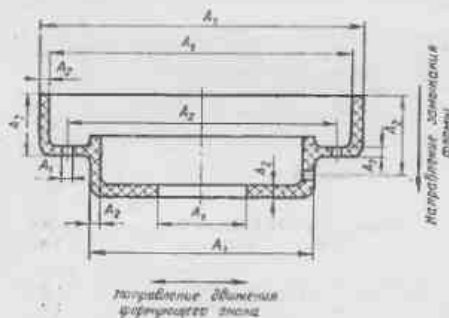


Рис. 1. Размеры элементов деталей из пластмасс в зависимости от их расположения в форме

Кроме того, при оценке возможной точности размеров деталей из пластмасс необходимо учитывать влияние технологических уклонов на поверхности детали, расположенных параллельно направлению замыкания формы. Технологические уклоны для сопрягаемых ответственных размеров должны располагаться в поле допуска размера. Другие погрешности формы детали, если они особо не оговариваются, также должны располагаться в поле допуска размера.

Технологические допуски для размеров деталей из пластмасс, получаемых в обычных производственных условиях, приведены в табл. 2.

Точность изготовления деталей из пластмасс резанием. Детали из пластмасс обрабатывают резанием обычно в том случае, если деталь сложной конфигурации трудно выполнить литьем без ее значительного усложнения в металлической форме.

В табл. 3 приведены данные о точности деталей из пластмасс при изготовлении их различными методами.

## 2. Технологические допуски для размеров деталей из пластмасс

Величина колебания усадки, %	Номинальные размеры, мм									
	От 1 до 3		От 3 до 30		От 30 до 120		От 120 до 250		От 250 до 500	
	Классификация $IT$ для размеров типа									
	$A_1$	$A_2$	$A_1$	$A_2$	$A_1$	$A_2$	$A_1$	$A_2$	$A_1$	$A_2$
До 0,06	8	10	8	9	9	10	10	11	11	12
Св. 0,06 до 0,10	9	11	9	10	10	11	11	12	12	13
> 0,10 > 0,16	10	12	10	11	11	12	12	13	13	14
> 0,16 > 0,25	11	13	11	12	12	13	13	14	14	15
> 0,25 > 0,40	12	14	12	13	13	14	14	15	15	16
> 0,40 > 0,60	13	15	13	14	14	15	15	16	16	17
> 0,60 > 1,00	14	16	14	15	15	16	16	17	17	18
Св. 1,00	15	17	15	16	16	17	17	18	18	—

Примечания: 1. Величину колебания усадки следует определять экспериментально на конкретных деталях или опытных образцах. Ориентировочные значения колебания усадки пластмасс некоторых марок равны: 0,1% — для реактопластов порошкообразных типа К-6 и реактопластов волокнистых типа АТ-4; 0,24% — для полиамидов; 0,40% — для реактопластов порошкообразных типа фенопластов; 0,60% — для полиуролозамульсионного и др.

2. Табличные данные относятся к пластмассовым деталям простой геометрической формы. Усложнение конфигурации детали приводит к увеличению технологического допуска, как правило, на один классификат.

3. Классификация размеров приведена на рис. 1.

4. Технологические уклоны не учтены.

## 3. Точность обработки деталей из пластмасс резанием

Вид обработки	Примеры обрабатываемых поверхностей	Классификация
Шлифование чистовое	Наружные цилиндрические	7,8
	Плоские поверхности, отверстия	8,9
Развертывание чистовое	Отверстия	8,9
Обточка чистовая	Наружные цилиндрические поверхности	9,10
Сверление чистовое	Отверстия	9,10
Шлифование черновое	Наружные цилиндрические и плоские поверхности	9,10
Зенкование	Отверстия	10,11
Фрезерование чистовое	Плоские поверхности	10,11
Сверление	Отверстия	11,12
Обточка черновая	Наружные цилиндрические	12,13
Фрезерование черновое	Плоские поверхности	12,13

Примечания: 1. Классификация указана для деталей из пластмасс типа аморфных термопластичных; точность обработки деталей из реактопластов на один классификат выше; точность обработки деталей из кристаллизующихся термопластов на один классификат ниже.

2. При размерах, превышающих 180 мм, следует выбирать допуск на один классификат грубее.

## 3. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ РЕЗЬБОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Профиль, основные размеры и допуски метрической резьбы для изделий из пластмасс регламентированы СТ СЭВ 1158—78. Указанным стандартом установлены резьбы диаметром от 1 до 180 мм на деталях из пластмасс, соединяемых с пластмассовыми и металлическими деталями.

Профиль резьбы. Размеры элементов профиля резьбы по СТ СЭВ 180—75, который соответствует рекомендации ИСО. Исключением является форма выступов болта и гайки (рис. 2), где допускаются закругления кромок радиусом  $R_1$ . Допускаемые значения радиуса закругления: для резьб с шагом менее 0,5 мм  $R_1 = 0,054P$ , для резьб с шагом 0,5 мм и выше  $R_1 = 0,054P + 0,02$ .

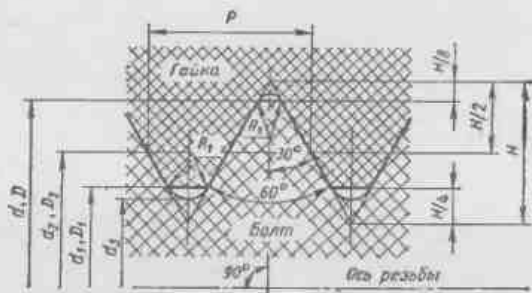


Рис. 2. Профиль метрической резьбы деталей из пластмасс

Диаметры и шаги. Диаметры и шаги резьб в основном соответствуют СТ СЭВ 181—75. На деталях из пластмасс не рекомендуются резьбы с мелкими шагами на диаметрах менее 4 мм, резьбы с шагом  $P = 0,5$  мм для  $D > 16$  мм,  $P = 0,75$  мм для  $D > 18$  мм и шагом  $P = 1$  мм для  $D > 36$  мм.

Эти ограничения основаны на результатах проведенных автором исследований, которыми установлено, что прочность резьбы деталей из пластмасс при одинаковой длине свинчивания уменьшается с уменьшением шага резьбы. Особенно значительно это снижение для шагов менее 1,5 мм, при прессовании которых происходит переобогащение витков резьбы смолой. Прочность резьбы деталей из пластмасс с большим относительным удлинением (полиамиды и т. п.) при уменьшении шага резьбы также снижается вследствие больших радиальных деформаций деталей.

С целью повышения прочности резьбового соединения СТ СЭВ 1158—78 предусматривает резьбы с особо крупными шагами, в которых гайка или болт могут быть пластмассовыми или металлическими.

Основные размеры резьбы — СТ СЭВ 182—75, основные размеры резьбы с особо крупными шагами по СТ СЭВ 1158—78.

Допуски. Допуск среднего диаметра резьбы должен быть равен или больше суммарной погрешности среднего диаметра. На суммарную погрешность наибольшее влияние оказывают рассеяние размеров сред-

него диаметра резьбы от колебания усадки, погрешность, возникающая вследствие усадки, и колебания усадки материала на длине свинчивания; погрешности среднего диаметра и шага резьбы пресс-формы; погрешность, вызываемая износом пресс-формы; погрешность, вызываемая технологическим уклоном и погрешность, являющаяся результатом коробления пластмассовой детали.

Суммарная погрешность среднего диаметра резьбы равна для болта разности наибольшего значения приведенного среднего диаметра и наименьшего значения собственно среднего диаметра резьбы; для гайки — разности наибольшего значения собственно среднего диаметра и наименьшего значения приведенного среднего диаметра резьбы, полученных при статистической обработке большой партии деталей, полученных в многогнездовой пресс-форме.

Исследованиями установлено, что для диаметров свыше 10 мм суммарная погрешность линейно зависит от диаметра. Однако в целях унификации с международными стандартами для деталей из пластмасс были приняты закономерности системы, числовые значения основных допусков и отклонений, классификация резьб по длине свинчивания — по СТ СЭВ 640—77.

При нормальной длине свинчивания ( $N$ ) предусмотрены поля допусков в трех классах точности: в среднем — 6h, 6g, 6H, 6G, в грубом — 8h, 8g, 7H, 7G, в очень грубом — 10h8h и 9H8H. Основные отклонения g (G) предназначены для резьбовых соединений с зазором. При малых длинах свинчивания ( $S$ ) установлены поля допусков: 7h6h, 7g6g, 6H, 6G, 9h8h, 9g8g, 8H, 8G. При больших длинах свинчивания ( $L$ ): 7h6h, 7g6g, 7H, 7G, 9h8h, 9g8g, 8H, 8G. Для длин свинчивания  $S$  и  $L$  допускается назначать поля допусков, установленные для нормальных длин свинчивания  $N$ . В посадках допускаются любые сочетания полей допусков, предусмотренные стандартом СЭВ.

Предельные отклонения диаметров резьбы для деталей из пластмасс должны соответствовать СТ СЭВ 640—77 и СТ СЭВ 1158—78.

Нижнее отклонение внутреннего диаметра резьбы болта не устанавливается, но косвенно ограничивается формой впадины резьбы болта, установленной для метрических резьб. Верхнее отклонение наружного диаметра резьбы гайки не устанавливается.

Достижимая точность резьбы при литье или прессовании для материалов с различной величиной колебания расчетной усадки может быть определена по табл. 4 для болтов и по табл. 5 для гаек. Указанные в таблицах степени точности могут быть достигнуты для приведенных соотношений колебания усадки, длины свинчивания и диаметра при условии изготовления резьбовых стержней и колец со скорректированным на величину средней усадки шагом.

При изготовлении резьбы в пресс-форме с номинальным (нескорректированным) шагом указанные в табл. 4 и 5 степени точности могут быть достигнуты при условии, если длина свинчивания будет уменьшена. При этом допустимое число витков определяется по формуле

$$n' = n \frac{\Delta q}{2q_{\max}}$$

где  $n$  — число витков по табл. 4 и 5;  $\Delta q$  — колебание усадки пластмассы;  $q_{\max}$  — максимальная усадка пластмассы.

## 4. Достижимая точность резьбы болтов

Шаг резьбы P, мм	Номинальный диаметр резьбы d, мм	Максимальное колебание расчетной усадки, %																											
		до 0,1			св. 0,1 до 0,16			св. 0,16 до 0,25			св. 0,25 до 0,40			св. 0,40 до 0,60			св. 0,60 до 1,0												
		Достижимая степень точности при числе витков, n																											
												4	8	16	4	8	16	4	8	16	4	8	16	4	8	16	4	8	16
0,7	св. 2,8 до 4,2																												
	" 4,2 " 5,6																												
	" 5,6 " 8,4																												
	" 8,4 " 11,2																												
	" 11,2 " 16,8																												
0,8	св. 2,8 до 4,2																												
	" 4,2 " 5,6																												
	" 5,6 " 8,4																												
	" 8,4 " 11,2																												
	" 11,2 " 16,8																												
1	св. 2,8 до 4,2																												
	" 4,2 " 5,6																												
	" 5,6 " 8,4																												
	" 8,4 " 11,2																												
	" 11,2 " 16,8																												
1,25	св. 5,6 до 8,4																												
	" 8,4 " 11,2																												
	" 11,2 " 16,8																												
	" 16,8 " 22,4																												
	" 22,4 " 33,8																												
1,5	св. 2,8 до 4,2																												
	" 4,2 " 5,6																												
	" 5,6 " 8,4																												
	" 8,4 " 11,2																												
	" 11,2 " 16,8																												
1,75	св. 11,2 до 16,8																												
	" 16,8 " 22,4																												
	" 22,4 " 33,8																												
	" 33,8 " 45																												
	" 45 " 67,5																												
2	св. 11,2 до 16,8																												
	" 16,8 " 22,4																												
	" 22,4 " 33,8																												
	" 33,8 " 45																												
	" 45 " 67,5																												
2,5	св. 16,8 до 22,4																												
	" 22,4 " 33,8																												
	" 33,8 " 45																												
	" 45 " 67,5																												
	" 67,5 " 90																												
3	св. 22,4 до 33,8																												
	" 33,8 " 45																												
	" 45 " 67,5																												
	" 67,5 " 90																												
	" 90 " 135																												

Степени точности :

6-я    7-я    8-я    9-я    10-я

Примечание.

Заштрихованные зоны определяют условия, при которых достижимы указанные степени точности резьбы.

## 5. Достижимая точность резьбы гаек

Шаг резьбы P, мм	Номинальный диаметр резьбы d, мм	Максимальное колебание расчетной усадки, %																								
		до 0,1			св. 0,1 до 0,16			св. 0,16 до 0,25			св. 0,25 до 0,40			св. 0,40 до 0,60			св. 0,60 до 1,0									
		Достижимая степень точности при числе витков, n																								
												4	8	16	4	8	16	4	8	16	4	8	16	4	8	16
0,7	св. 2,8 до 4,2																									
	" 4,2 " 5,6																									
	" 5,6 " 8,4																									
	" 8,4 " 11,2																									
	" 11,2 " 16,8																									
0,8	св. 2,8 до 4,2																									
	" 4,2 " 5,6																									
	" 5,6 " 8,4																									
	" 8,4 " 11,2																									
	" 11,2 " 16,8																									
1	св. 2,8 до 4,2																									
	" 4,2 " 5,6																									
	" 5,6 " 8,4																									
	" 8,4 " 11,2																									
	" 11,2 " 16,8																									
1,25	св. 5,6 до 8,4																									
	" 8,4 " 11,2																									
	" 11,2 " 16,8																									
	" 16,8 " 22,4																									
	" 22,4 " 33,8																									
1,5	св. 2,8 до 4,2																									
	" 4,2 " 5,6																									
	" 5,6 " 8,4																									
	" 8,4 " 11,2																									
	" 11,2 " 16,8																									
1,75	св. 11,2 до 16,8																									
	" 16,8 " 22,4																									
	" 22,4 " 33,8																									
	" 33,8 " 45																									
	" 45 " 67,5																									
2	св. 11,2 до 16,8																									
	" 16,8 " 22,4																									
	" 22,4 " 33,8																									
	" 33,8 " 45																									
	" 45 " 67,5																									
2,5	св. 16,8 до 22,4																									
	" 22,4 " 33,8																									
	" 33,8 " 45																									
	" 45 " 67,5																									
	" 67,5 " 90																									
3	св. 22,4 до 33,8																									
	" 33,8 " 45																									
	" 45 " 67,5																									
	" 67,5 " 90																									
	" 90 " 135																									

Степени точности :

6-я    7-я    8-я    9-я

Примечание.

Заштрихованные зоны определяют условия, при которых достижимы указанные степени точности резьбы.

## ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Подшипники качения являются наиболее распространенными стандартными изделиями, изготавливаемыми на специализированных предприятиях. Они обладают полной внешней взаимозаменяемостью, т. е. взаимозаменяемостью по присоединительным поверхностям, определяемым наружным диаметром  $D$  наружного и внутренним диаметром  $d$  внутреннего колец подшипника, и неполной внутренней взаимозаменяемостью между телами качения и кольцами. Полная взаимозаменяемость по присоединительным поверхностям позволяет быстро монтировать и заменять изношенные подшипники.

Основные размеры шариковых и роликовых подшипников приведены в СТ СЭВ 402—76. Предельные отклонения размеров шариковых и роликовых подшипников, а также специальных подшипников, к которым не предъявляются особые технические требования, выбирают из СТ СЭВ 774—77.

Качество подшипника определяется точностью изготовления его деталей и точностью сборки. Установлено пять классов точности подшипников, обозначаемых в порядке повышения точности: P0, P6, P5, P4 и P2, которые характеризуются величинами отклонений размеров и точности вращения, а также взаимным расположением поверхностей подшипников. Допускается обозначение классов точности подшипников соответственно 0; 6; 5; 4 и 2 (СТ СЭВ 774—77).

Класс точности подшипника проставляют перед условным обозначением подшипника (перед его номером) и отделяют от него разделительной чертой, например: P4—205 (4—205) или P5—36208 (5—36208). Нулевой класс точности является основным и распространяется на все типы подшипников. В обозначении такого подшипника цифра «0» не ставится, например: 205.

Предельные отклонения размеров валов и отверстий в корпусах (соответственно выбранным посадкам) определяются общим стандартом на допуски гладких цилиндрических деталей СТ СЭВ 145—75.

Установлено обязательное применение: а) системы отверстия для соединения внутреннего кольца с валом и б) системы вала для соединения наружного кольца с корпусом. Выбор системы сделан исходя из требования, что оба присоединительные размера подшипника должны быть основными. Это дает возможность осуществлять соединение подшипника с валом и с корпусом во любой посадке, выбранной исходя из условий эксплуатации, путем назначения соответствующих отклонений размеров вала и отверстия в корпусе.

В соединениях колец подшипника с валом и корпусом применяют так называемые подшипниковые посадки. Отличие этих посадок от

обычных посадок в цилиндрических соединениях состоит в том, что зазоры и натяги в них имеют другие величины, так как отклонения диаметров  $D$  и  $d$  колец подшипников отличаются от отклонений основного отверстия и основного вала какого-либо качества.

Наиболее существенным отличием подшипниковых посадок от обычных является расположение поля допуска отверстия внутреннего кольца подшипника. Это отверстие, как указано, основное, но поле допуска его расположено вниз от нулевой линии. Применяя такие поля допусков валов, как  $j_5$ ,  $j$ ,  $k$ ,  $m$ ,  $n$ , которые с обычным полем допуска отверстия, например H7, давали бы переходные посадки, получим в данном случае посадки с натягом или предельным или средним (рис. 1).

Выбор посадок в соединениях колец подшипника с валом и отверстием в корпусе производится в зависимости от типа, размера и конструкции подшипника, от условий его эксплуатации, от величины, направления и характера нагрузок, действующих на подшипник (см. СТ СЭВ 773—77).

Виды нагружения колец подшипников качения: местное, циркуляционное или колебательное, зависят от условий работы подшипникового узла.

Местным нагружением кольца называют такой вид нагружения, при котором действующая на подшипник результирующая радиальная нагрузка постоянно воспринимается одним и тем же ограниченным участком дорожки качения этого кольца (в пределах зоны нагружения) и передается соответствующему участку посадочной поверхности вала или корпуса. Такой вид нагружения имеет место, например, когда кольцо не вращается относительно нагрузки (внутреннее кольцо на рис. 2, а, наружное — на рис. 2, б).

Циркуляционным нагружением кольца называют такой вид нагружения, при котором действующая на подшипник результирующая радиальная нагрузка воспринимается и передается телами качения в процессе вращения дорожке качения и последовательно всей посадочной поверхности вала или корпуса. Такой вид нагружения возникает, например, когда кольцо вращается относительно постоянной по направлению радиальной нагрузки, а также когда нагрузка вращается относительно неподвижного или подвижного кольца, а также когда она вращается с разными скоростями (наружное кольцо — на рис. 2, а, внутреннее — на рис. 2, б).

Колебательным нагружением кольца называют такой вид нагружения, при котором неподвижное кольцо подшипника подвергается одновременному воздействию радиальных нагрузок; постоянной по направлению  $F_r$  и вращающейся  $F_c$ , меньшей или равной по величине  $F_r$ . Их равнодействующая  $F_{r+c}$  совершает периодическое колебательное движение, симметричное относительно направления постоянной нагрузки, причем она периодически воспринимается через тела качения зоной нагружения кольца и передается соответствующим ограниченным участкам посадочной поверхности.

Равнодействующая нагрузка  $F_{r+c}$  не совершает полного оборота, а колеблется между точками А и В (рис. 2, и). Колебательные нагружения испытывает наружное кольцо на рис. 2, в и внутреннее — на рис. 2, г.

Если нагрузка  $F_r$  постоянного направления меньше вращающейся  $F_c$ , то кольца являются местно или циркуляционно нагруженными в зависимости от схемы приложения сил (на рис. 2, д показано местное нагружение на внутреннем кольце, циркуляционное нагружение на на-

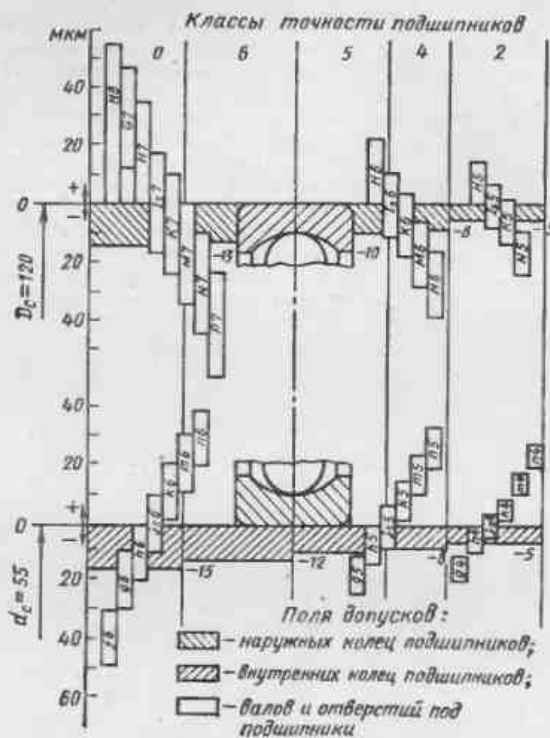


Рис. 1. Схемы расположения полей допусков колец подшипников качения, валов и отверстий в корпусах для подшипников с  $d_c = 55$  мм,  $D = 120$  мм

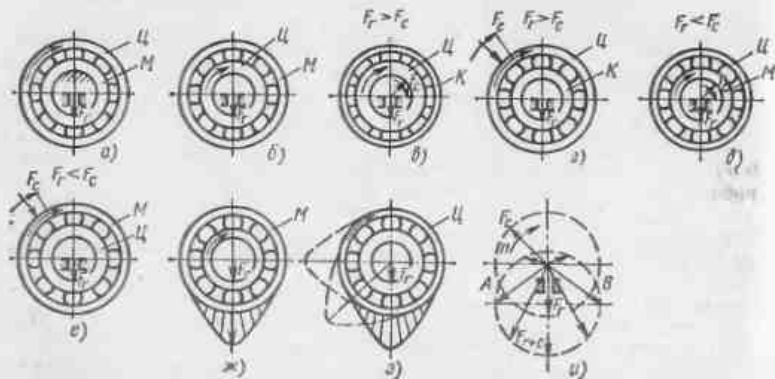


Рис. 2. Виды нагружения колец подшипников качения: М — местное; Ц — циркуляционное; К — колебательное

ружном кольце; на рис. 2, е показано циркуляционное нагружение на внутреннем кольце, местное нагружение — на наружном кольце).

Эпюры местного, циркуляционного и колебательного нагружений показаны на рис. 2, ж, з.

Подшипник монтируется с необходимым зазором по тому кольцу, которое испытывает местное нагружение (табл. 1) [22]. При такой сравнительно свободной посадке устраняется заклинивание шариков, а кольцо под действием толчков и вибраций постепенно поворачивается по посадочной поверхности, благодаря чему износ беговой дорожки происходит равномерно по всей окружности кольца. Срок службы подшипников при такой посадке колец с местным нагружением повышается.

При циркуляционном нагружении монтаж подшипника на вал и в корпус производится с натягом, который исключает возможность обкатки и проскальзывания кольца по посадочной поверхности в процессе работы под нагрузкой. Наличие зазора в подобном случае приводит к проворачиванию кольца относительно посадочного места, в результате чего происходит развальцовывание и износ шейки вала или корпуса, что недопустимо.

При циркуляционном нагружении колец подшипников посадки на вал и в корпус выбирают по величине  $P_{Fr}$  — интенсивности радиальной нагрузки на посадочной поверхности, которую определяют по формуле

$$P_{Fr} = \frac{F_r}{B} k_1 k_2 k_3, \quad (1)$$

где  $F_r$  — расчетная радиальная нагрузка на опору, Н;  $B$  — ширина подшипника, см;  $k_1$  — динамический коэффициент посадки, зависящий от характера нагрузки;  $k_2$  — коэффициент, учитывающий степень ослабления посадочного натяга при полом вале или тонкостенном корпусе (при массивном вале  $k_2 = 1$ );  $k_3$  — коэффициент неравномерности распределения радиальной нагрузки между рядами роликов в двухрядных конических роликоподшипниках или между двоянными шарикоподшипниками при наличии осевой нагрузки  $F_a$  на опору. Значения  $k_3$  зависят от величины  $\frac{F_a}{F_r} \operatorname{ctg} \alpha$ , где  $\alpha$  — угол контакта, указанный

в стандарте на габаритные размеры выбранного типа подшипника (в некоторых справочниках угол  $\alpha$  обозначен через  $\beta$ ).

Значения коэффициентов в формуле (1) выбирают по табл. 2, 3 и 4. Допустимые значения нагрузок  $P_{Fr}$  на посадочных поверхностях валов и корпусов при циркуляционном нагружении приведены в табл. 5.

В основном при посадке подшипников классов точности 0 и 6 отверстия в корпусах обрабатываются по 7-му качеству, валы — по 6-му. При посадке подшипников классов 5 и 4 отверстия в корпусах обрабатывают по 6-му качеству, валы — по 5-му.

На присоединительных поверхностях деталей указывается рядом с условным знаком допустимое отклонение формы, а именно «допуск цилиндричности», которое при посадке подшипников классов точности 0 и 6 не должно превышать четверти допуска на размер, а при посадке подшипников классов 5 и 4 — одной восьмой части допуска.

Шероховатость посадочных поверхностей валов и отверстий в корпусах не должна превышать величины, указанных в табл. 6.

На сборочном чертеже посадки колец подшипников указывают в виде дроби. В соединении внутреннего кольца подшипника с валом



1. Поля допусков валов и отверстий в корпусах, соединяемых с подшипниками качения (нагруженные шарико- и роликоподшипники — местное)

Номинальный диаметр, мм	Поля допусков		Типы подшипников
	валов (осей)	отверстий в корпусе	
		неразъемном	

Нагрузка спокойная или с умеренными толчками и вибрацией, перегрузка до 150%

До 80	$h5, h6$ $g5, g6$	$H6, H7$	$H6, H7$	Все типы, кроме штампованных игольчатых
Св. 80 до 260	$h6^*, g6^b$ $I6^b$	$G6, G7$		
Св. 260 до 500	$h6, I6^b$	$H8^*$	$H8^*$	
Св. 500 до 1600				

Нагрузки с ударами и вибрацией, перегрузка до 300%

До 80	$h5, h6$	$J_5^b, J_5^7$	$J_5^b, J_5^7$	Все типы, кроме штампованных игольчатых, роликовых конических двухрядных
Св. 80 до 260				
Св. 260 до 500	$g5, g6$	$H6, H7$	$J_5^b, J_5^7$	
Св. 500 до 1600				
До 120	$h5, h6$ $g5, g6$	$H6, H7$	$J_5^b, J_5^7$	Роликовые конические двухрядные
Св. 120 до 1600				

Независимо от характера нагрузки

Все размеры диаметров	$h5, h6^{**}$	$h6, h7^{***}$	$J_5^b, J_5^7$ (в стальной или нержавеющей стали)	Роликовые игольчатые штампованные
	или $I_5^b, I_5^b^{**}$	или $J_5^b, J_5^7$		

\* Поля допусков  $I_6$  и  $H_8$  применять при частоте вращения не более  $0,6n_{пр}$  (где  $n_{пр}$  — предельно допустимая частота вращения подшипников).

\*\* Соединения подшипников с валами, выточенными по  $h5, h6, I_5^b, I_5^b$ , осуществляют методом селективной сборки.

\*\*\* Для корпусов из цветного металла.

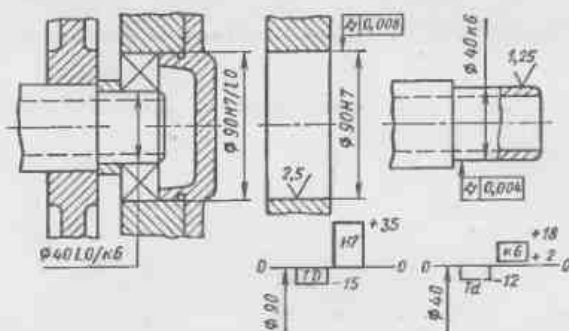


Рис. 3. Обозначение посадок подшипников качения на сборочных чертежах и полей допусков на чертежах деталей

в числителе указывают точность подшипника с буквой  $L$  впереди ( $L$  — первая буква немецкого слова Lager, что означает подшипник), а в знаменателе — поле допуска вала. Например  $\varnothing 40 L0/h6$ . В соединении наружного кольца подшипника с отверстием в корпусе в числителе указывают поле допуска отверстия, а в знаменателе — точность подшипника с буквой  $I$ , например  $\varnothing 90 H7/u6$ . Такое обозначение вместо обычного принято предположительно до установления его стандартом. Ранее для отличия обозначения соединения от обозначения детали на сборочном чертеже рядом с обозначением детали (вала или отверстия в корпусе) ставился индекс «ш» (посадка подшипниковая).

Простановка посадок на соединениях узла подшипника качения дана на рис. 3.

2. Значения коэффициента  $k_1$

Нагрузка	$k_1$
с умеренными толчками и вибрацией, перегрузка до 150% ( $K_B < 1,5$ )	1,0
с сильными ударами и вибрацией, перегрузка до 300% ( $K_B > 1,5$ )	1,8

Значения коэффициента  $k_2$

$d_1$ или $D_1$	Значения коэффициента $k_2$			
	для вала			для корпуса
	$D/d \leq 1,5$	$D/d \geq (1,5 \div 2,0)$	$D/d \geq (2 \div 3)$	для всех подшипников
До 0,4	1,0	1,0	1,0	1,0
Св. 0,4 до 0,7	1,2	1,4	1,6	1,0
> 0,7 > 0,8	1,5	1,7	2,0	1,4
> 0,8	2,0	2,3	3,0	1,8

Примечание.  $d$  и  $D$  — соответственно диаметр отверстия и наружный диаметр подшипника;  $d_1$  — диаметр отверстия полого вала;  $D_1$  — диаметр наружной поверхности тонкостенного корпуса.

4. Значения коэффициента  $k_2$ 

$F_d/F_r \text{ ctg } \beta$		$k_2$
Св. 0,2	До 0,2	1,0
> 0,4	> 0,4	1,2
> 0,6	> 0,6	1,4
> 1,0	> 1,0	1,6
		2,0

## 5. Поля допусков валов и отверстий, допускаемые значения нагрузок на посадочных поверхностях подшипников, Н/см

Диаметр отверстия внутреннего кольца, мм	Поля допусков при посадке на вал			
	$i_5^5$ или $i_5^6$	$k_5$ или $k_6$	$m_5$ или $m_6$	$n_5$ или $n_6$
Св. 18 до 80	До 3000	3 000—14 000	14 000—16 000	16 000—30 000
Св. 80 до 180	> 6000	6 000—20 000	20 000—25 000	25 000—40 000
Св. 180 до 360	> 7000	7 000—30 000	30 000—35 000	35 000—60 000
Св. 360 до 630	> 9000	9 000—35 000	35 000—54 000	54 000—80 000

Продолжение табл. 5

Наружный диаметр наружного кольца, мм	Поля допусков при посадке в корпус			
	$K_6$ или $K_7$	$M_6$ или $M_7$	$N_6$ или $N_7$	$P_7$
Св. 50 до 180	До 8 000	8 000—10 000	10 000—13 000	13 000—25 000
Св. 180 до 360	> 10 000	10 000—15 000	15 000—20 000	20 000—33 000
Св. 360 до 630	> 12 000	12 000—20 000	20 000—26 000	26 000—40 000
Св. 630 до 1600	> 16 000	16 000—25 000	25 000—35 000	35 000—65 000

## 6. Шероховатость посадочных поверхностей под подшипники качения

Класс точности подшипника	Номинальный разм.: $r$					
	валов		отверстий		торцов заплечников	
	$d \leq 80$ мм	$d > 80$ мм	$D \leq 80$ мм	$D > 80$ мм	$d \leq 80$ мм	$d > 80$ мм
	Значения параметра $R_z$					
0	1,25	2,5	1,25	2,5	2,5	2,5
6 и 5	0,63	1,25	0,63	1,25	1,25	2,5
4	0,32	0,63	0,63	1,25	1,25	2,5

## ТОЧНОСТЬ УГЛОВЫХ РАЗМЕРОВ И ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ



Номинальные значения углов, устанавливаемых как независимые от значений других величин конструктивных элементов деталей, выбирают из стандартного ряда нормальных углов по СТ СЭВ 513—77 (табл. 1). В частности, выбранные при расчете значения этих углов принимают за исходные. В табл. 1 представлены ряды нормальных углов. Ряды нормальных конусностей для конических соединений представлены в табл. 2. Наиболее предпочтительными являются значения углов и конусностей первого ряда.

## 1. Нормальные углы, градусы

1-й ряд	0; 5; 15; 30; 45; 60; 90; 120
2-й ряд *	30'; 1; 2; 3; 4; 6; 7; 8; 10; 20; 40; 75
3-й ряд **	15'; 45'; 1° 30'; 2° 30'; 9; 12; 18; 22; 25; 35; 50; 55; 65; 70; 80; 85; 100; 110; 135; 150; 165; 180; 270

\* Даны только те значения, которые добавляются к значениям 1-го ряда.

\*\* Даны только те значения, которые добавляются к значениям 2-го ряда.

## 2. Нормальные конусности

1-й ряд	1 : 500; 1 : 200; 1 : 100; 1 : 15; 1 : 10; 1 : 5; 1 : 3; 1 : 1,866025 ( $\alpha = 30^\circ$ ); 1 : 1,207107 ( $\alpha = 45^\circ$ ); 1 : 1,866025 ( $\alpha = 60^\circ$ ); 1 : 0,500000 ( $\alpha = 90^\circ$ ); 1 : 0,288675 ( $\alpha = 120^\circ$ )
2-й ряд *	1 : 30; 1 : 15; 1 : 12; 1 : 8; 1 : 7; 1 : 6; 1 : 4; 1 : 0,651613 ( $\alpha = 75^\circ$ )

\* Даны только те значения, которые добавляются к значениям 1-го ряда.

## 1. ДОПУСКИ НА УГЛОВЫЕ РАЗМЕРЫ

Допуски на углы конусов и призматических элементов деталей с длинной, меньшей стороны угла до 2500 мм, устанавливаются СТ СЭВ 178—75. Этот стандарт не распространяется на конусы (рис. 1), для которых



минальной длины конуса  $L$  (точнее, принимают  $L \approx L_1$ ), а с конусностью более 1 : 3 — в зависимости от длины образующей конуса  $L_1$ .

Предельные отклонения могут быть расположены как в плюс (+ $AT$ ), в минус (− $AT$ ), так и симметрично ( $\pm AT/2$ ) относительно номинального значения угла.

Значения допусков углов в линейных единицах ( $AT_h$  и  $AT_D$ ) можно определять по формуле

$$AT_h = AT_\alpha L_1 \cdot 10^{-3},$$

где  $AT_h$  в мкм,  $AT_\alpha$  в микрад,  $L_1$  ( $L$ ) в мм.

Для конусов с конусностью не более 1 : 3 принимают  $AT_D \approx AT_h$  (разность не более 2%), а для конусов с конусностью более 1 : 3 значения  $AT_D$  определяют по формуле

$$AT_D = \frac{AT_h}{\cos \alpha/2},$$

где  $\alpha$  — номинальный угол конуса.

При обозначении допуска угла заданной степени точности указываем выше обозначения дополняются номером соответствующей степени точности. Например,  $AT_5$ ,  $AT_8$ .

## 2. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ДЛЯ КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Система допусков для конических поверхностей предусматривает следующие виды допусков: допуск диаметра в любом сечении конуса ( $T_D$ , см. рис. 1) или допуск диаметра в заданном сечении конуса ( $T_{D_s}$ , см. рис. 1); допуск угла конуса ( $AT$ ); допуск формы конуса ( $T_F$ ).

Для конических соединений, как и для цилиндрических, номинальный угол конуса (номинальная конусность) является номинальным для наружного и внутреннего конусов. Предусмотрены посадки с зазором, натягом и переходные. Однако в конических соединениях характер соединения может меняться не только путем взаимного расположения полей допусков внутреннего и наружного конусов, но и путем осевого смещения. В связи с этим различают следующие четыре способа фиксации взаимного расположения конусов, представленные на рис. 3 для случая образования посадки с натягом: путем совмещения конструктивных элементов сопрягаемых конусов (рис. 3, а); по заданному осевому расстоянию  $z_{pf}$  между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов (рис. 3, б); по заданному осевому смещению от начального положения сопрягаемых конусов (рис. 3, в); по заданному усилию запрессовки  $F_s$  (рис. 3, г).

Допуски  $T_D$  и  $T_{D_s}$  должны соответствовать квалитетам по СТ СЭВ 145—75 (для цилиндрических соединений). При этом числовые значения  $T_D$  определяются по номинальному диаметру большего основания конуса  $D$ , а числовые значения  $T_{D_s}$  — по номинальному диаметру заданного сечения  $D_s$ . Для конических соединений из полей допусков по СТ СЭВ 144—75 предвазначены следующие: для внутренних конусов:  $H01 \dots H17$ ,  $J_s01 \dots J_s17$ ;  $N9$ ; для наружных конусов:  $d8$ ,  $d9$ ,  $e7 \dots$

$\dots e9$ ,  $f6 \dots f9$ ,  $g4 \dots g6$ ,  $h01 \dots h17$ ,  $j_s01 \dots j_s17$ ,  $k4 \dots k7$ ,  $m4 \dots m7$ ,  $n4 \dots n7$ ,  $p5$ ,  $p6$ ,  $r5$ ,  $r6$ ,  $s5 \dots s7$ ,  $t6$ ,  $u7$ ,  $u8$ ,  $x8$ ,  $z8$ . В отдельных обоснованных случаях стандартом допускается применение других полей допусков, предусмотренных в СТ СЭВ 144—75, а также дополнительных:  $k8 \dots k12$ ,  $N10 \dots N12$ . Для значения  $D$  и  $D_s$  до 3 мм вместо полей  $N9 \dots N12$  предусмотрен поля  $K9 \dots K12$ .

Поля допусков выбирают с учетом требований, предъявляемых к коническому соединению и способа фиксации взаимного осевого положения. При фиксации по конструктивным элементам или по заданному расстоянию между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов следует применять систему отверстия и выбирать поля допусков не грубее 9-го квалитета. Рекомендуется выбирать допуски одного квалитета для

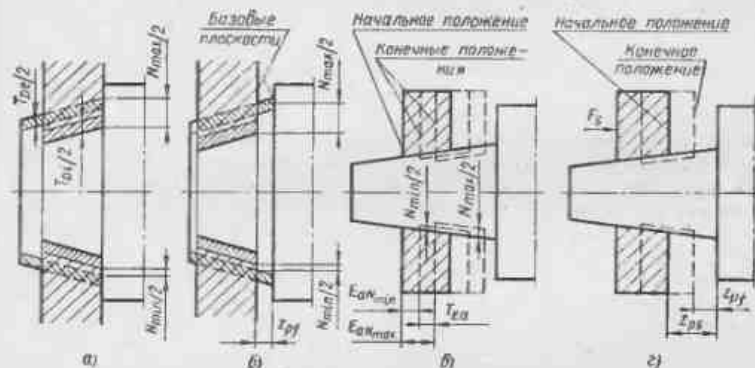


Рис. 3. Схемы образования соединения с натягом при различных способах фиксации взаимного расположения конусов

наружного и внутреннего конусов. Допускается назначать больший квалитет для внутреннего конуса, но не более чем на два превышающий квалитет наружного конуса.

При фиксации по заданному смещению от начального положения или по заданному усилию запрессовки применяют поля допусков от 8 до 12-го квалитета с основными отклонениями:  $H$  (предпочтительно),  $J_s$ , или  $N$ ;  $h$ ,  $j_s$ , или  $k$ .

Для соединений с фиксацией по заданному осевому смещению ( $E_a$ ) конусов относительно начального положения предельные значения и допуск осевого смещения ( $T_{Ea}$ ) определяют по формулам в посадках с зазором

$$E_{aS \min} = 1/CS_{\min}; E_{aS \max} = 1/CS_{\max}; T_{Ea} = E_{aS \max} - E_{aS \min};$$

в посадках с натягом

$$E_{aN \min} = 1/CN_{\min}; E_{aN \max} = 1/CN_{\max}; T_{Ea} = E_{aN \max} - E_{aN \min};$$

где  $S_{\max}$  ( $N_{\max}$ ) и  $S_{\min}$  ( $N_{\min}$ ) — наибольший и наименьший зазоры (натяги), определяемые по требованиям, предъявляемым к соединению.

Допуски угла конуса (АТ), если они назначаются непосредственно, должны соответствовать степеням точности по СТ СЭВ 178—75, т. е. так же, как и допуски на угловые размеры.

Непосредственно допуски угла конуса назначаются тогда, когда:

1) допускается только одностороннее расположение отклонений угла («+АТ» или «-АТ»);

2) при заданном допуске диаметра в любом сечении ( $T_D$ ) отклонения угла конуса должны быть меньше тех наибольших значений ( $\Delta\alpha_{\max}$ ), которые могут образоваться при  $\Delta\alpha_{\max} = T_D/L \cdot 10^3$ , т. е. при полном использовании  $T_D$ ; в этом случае, очевидно,  $AT_\alpha < T_D/L \cdot 10^3$ ;

3) назначается допуск диаметра конуса в заданном сечении ( $T_{Dz}$ ); в этом случае рекомендуется соблюдать условие:  $AT_\alpha < T_{Dz}/L \cdot 10^3$ .

Под действительным углом понимают угол между прилегающими прямыми, соответствующими реальным образующим в любом продольном сечении конуса.

Допуск формы конуса (допуск круглости  $T_{FR}$  и допуск прямолинейности образующей  $T_{FL}$ ) должны назначаться непосредственно тогда, когда:

1) отклонения формы должны быть меньше половины заданного допуска диаметра конуса в любом сечении;

2) назначен допуск диаметра конуса в заданном сечении ( $T_{Dz}$ ); в этом случае, при назначении допуска формы конуса рекомендуется соблюдать условия:  $T_{FR} < T_{Dz}$  и  $T_{FL} < T_{Dz}$ . И при заданном допуске угла конуса рекомендуется соблюдать условия:  $T_{FR} < 0,5AT_D$  и  $T_{FL} < 0,5AT_D$ , если одно из предельных отклонений угла конуса «+АТ» или «-АТ»;  $T_{FR} < 0,25AT_D$  и  $T_{FL} < 0,25AT_D$  при симметричных отклонениях угла конуса, т. е.  $\pm AT/2$ .

### 3. ДОПУСКИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ КОНУСОВ

Степени точности и предельные отклонения угла и формы конических поверхностей конусов (табл. 4) должны соответствовать ГОСТ 2848—75, который распространяется на конусы инструментов по СТ СЭВ 147—75, СТ СЭВ 148—75 и укороченные по ГОСТ 9953—67.

Примеры условного обозначения на чертежах:

1) конус Морзе 3, степень точности АТ8:

*Морзе 3 АТ8 ГОСТ 2847—67, или*

*Морзе 3 АТ8 СТ СЭВ 147—75, или*

*Морзе 3 АТ8 ГОСТ 2847—67 СТ СЭВ 148—75)*

2) метрический конус 160, степень точности АТ7:

*Метр. 160 АТ7 ГОСТ 2847—67*

3) укороченный конус В16, степень точности АТ6:

*Морзе В16 АТ6 ГОСТ 9953—67.*

### 4. Предельные отклонения углов и формы конических поверхностей, мм

Обозначение конусов	Длина измерения угла конуса $L$ , мм	Предельные отклонения угла конуса на длине конуса					
		Степень точности					
		АТ4	АТ5	АТ6	АТ7	АТ8	
Метрических	4	25	—	—	8	12	20
	6	35	—	—	10	16	25
Морзе	0	49	4	—	10	16	25
	1	52					
	2	64					
	3	79	5	8	12	20	30
	4	100	6	10	16	25	40
	5	126					
	6	174					
Метрических	80	180	8	12	20	30	50
	100	212					
	120	244					
	160	308					
	200	372					
Укороченных	В7	14	—	—	6	10	16
	В10	18					
	В12	22					
	В16	29			8	12	20
	В18	37					
	В22	45,5					
	В24	55,5			10	16	25
	В32	57,5					
	В45	71					
			12	20	30		

Продолжение табл. 4

Обозначение конусов	Длина измерения угла конуса $L$ , мм		Предельные отклонения формы конуса от									
			прямолнейности					круглости				
			Степень точности									
			AT4	AT5	AT6	AT7	AT8	AT4	AT5	AT6	AT7	AT8
Метрических	4	25	—	—	1,6	2,5	4	—	—	4	6	10
	6	35			2	3	5					
Мерзе	0	49	1	1,6	2,5	4	6	2	3	5	8	12
	1	52										
	2	64										
	3	79	1,2	2	3	5	8					
	4	100						2,5	4	6	10	16
	5	126	1,6	2,5	4	6	10					
Метрических	6	174										
	80	180	2	3	5	8	12	3	5	8	12	20
	100	212										
	120	244										
	160	306	2,5	4	6	10	16	4	6	10	16	25
Укороченных	200	372										
	B7	14			1,2	2	3					
	B10	18			1,6	2,5	4					
	B12	22								3	5	8
	B16	29										
	B18	37			2	3	5					
	B22	45,5										
	B24	55,5			2,5	4	6			4	6	10
	B32	57,5										
	B45	71			3	5	8					

Примечания: 1. Отклонения угла конуса от номинального размера располагать: в «плюс» — для наружных конусов, в «минус» — для внутренних.

2. Отклонения по степеням точности AT4 и AT5 указаны только для наружных конусов.

## РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

Для нормальной работы машины или другого изделия необходимо, чтобы составляющие их детали и поверхности последних занимали одна относительно другой определенное, соответствующее служебному назначению положение. При расчете точности относительного положения деталей и их поверхностей учитывают взаимосвязь других размеров деталей в изделии. Например, из рис. 1 следует, что при изменении  $A_1$  и  $A_2$  величины зазоров  $A_0$  также меняются. В зависимости от принятой последовательности обработки поверхностей между действительными размерами отдельной детали также имеется определенная взаимосвязь. В обоих случаях она устанавливается при помощи размерных цепей. Установление оптимального соотношения как номинальных размеров деталей, так и допустимых отклонений при размерном анализе точности есть один из эффективных методов повышения качества изделий, обеспечения надежности и долговечности их работы при одновременном снижении производственных затрат при обеспечении взаимозаменяемости изделий.

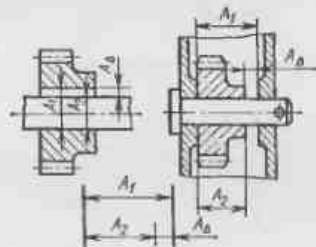


Рис. 1. Размерные цепи с замыкающим звеном  $A_0$

## 1. КЛАССИФИКАЦИЯ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Размерной цепью называют совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной точностной задачи.

В инженерной практике встречаются размерные цепи различных видов.

По взаимному положению звеньев цепи делятся на линейные, плоские и пространственные. Размерную цепь называют *линейной*, если все ее звенья номинально параллельны одно другому и, следовательно, могут быть спроектированы без изменения их величины на две или несколько параллельных линий. Размерную цепь называют *плоской*, если все или часть ее звеньев не параллельны, но лежат в одной или нескольких параллельных плоскостях. *Пространственной* называют размерную цепь, все или часть звеньев которой не параллельны одно другому и лежат в не параллельных плоскостях.

Размеры (звенья), из которых состоит размерная цепь, делятся на составляющие и один замыкающий размер. *Замыкающим* называют размер, который получается последним в процессе обработки детали или сборки узла машины. Его величина и точность зависят от величины и точности всех остальных размеров цепи, называемых *составляющими*.

Звено сборочной размерной цепи, которое определяет функционирование механизма, называют *исходным* (функциональным) размером (зазор, натяг, величина перемещения детали и т. п.). Исходя из предельных значений этого размера, рассчитывают допуски и отклонения всех остальных размеров цепи. В процессе сборки исходный размер, как правило, становится замыкающим. В поддетальной размерной цепи размер, исходя из точности которого определяется степень точности остальных размеров, также называют исходным. Замыкающее звено может быть положительным, отрицательным или равным нулю. Составляющие размеры при увеличении которых замыкающее звено увеличивается, называют *увеличивающими*. Составляющие размеры, при увеличении которых замыкающее звено уменьшается, называют *уменьшающими*. Размерную цепь можно условно изображать в виде безмасштабной схемы. На ней удобнее выявлять увеличивающие и уменьшающие звенья. Первые обозначают стрелками, направленными вправо, а вторые — влево.

При размерном анализе могут встречаться взаимосвязанные размерные цепи с общими звеньями или базами, а также цепи, в которых исходным звеном является одно из составляющих звеньев основной цепи. В последнем случае цепи называют *производными*.

Расчет и анализ размерных цепей позволяет:

установить количественную связь между размерами деталей машины и уточнить номинальные значения и допуски взаимосвязанных размеров исходя из эксплуатационных требований и экономической точности обработки деталей и сборки машины;

определить, какой вид взаимозаменяемости (полный или ограниченный) будет наиболее рентабелен;

добиться наиболее правильной постановки размеров на рабочих чертежах;

определить операционные допуски и пересчитать конструктивные размеры на технологические (в случае несовпадения технологических баз с конструктивными).

Расчет размерных цепей и их анализ — обязательный этап конструирования машин, способствующий повышению качества, обеспечению взаимозаменяемости и снижению трудоемкости их изготовления. Сущность расчета размерной цепи заключается в установлении допусков и предельных отклонений всех ее звеньев исходя из требований конструкции и технологии. При этом различают *две задачи*:

первая задача — определение номинального размера и допуска (предельных отклонений) замыкающего звена по заданным номинальным размерам и предельным отклонениям составляющих звеньев (такая задача возникает в тех случаях, когда требуется проверить соответствие допуска замыкающего размера допускам составляющих размеров, представленных на чертеже, — проверочный расчет);

вторая задача — определение допуска и предельных отклонений составляющих размеров по заданным номинальным размерам всех размеров цепи и заданным предельным размерам исходного (замыкающего)

размера (такого типа задачи ставятся при проектном расчете размерной цепи).

Существуют методы расчета размерных цепей, которые при внедрении результатов расчета обеспечивают полную и неполную (ограниченную) взаимозаменяемость. Кроме того, применяют теоретико-вероятностный метод расчета размерных цепей.

## 2. МЕТОД РАСЧЕТА РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ ПОЛНУЮ ВЗАИМОЗАМЕЯЕМОСТЬ

Чтобы обеспечить полную взаимозаменяемость, размерные цепи рассчитывают по *методу максимума-минимума*, при котором допуск замыкающего размера определяется арифметическим сложением допусков составляющих размеров. Этот метод обеспечивает заданную точность сборки без какого-либо подбора или подгонки деталей.

Как говорилось выше, различают две задачи. Рассмотрим расчет размерных цепей на примерах.

Первая задача. У детали вначале обрабатывается базовая плоскость 1, затем по настройке от этой базы — плоскость 2 по размеру  $A_2 = 28 \pm 0,14$  мм и плоскость 3 по размеру  $A_1 = 60 \pm \pm 0,2$  мм. Размерная цепь показана на рис. 2.

Расчет номинального размера замыкающего звена. В технологической линейной размерной цепи размер  $A_\Delta$  является замыкающим; его величина зависит от действительных размеров  $A_1$  (увеличивающего) и  $A_2$  (уменьшающего):

$$A_\Delta = A_1 - A_2 = 60 - 28 = 32 \text{ мм.}$$

В общем случае при  $n$  увеличивающих и  $p$  уменьшающих размерах уравнение для определения номинального размера замыкающего звена линейной размерной цепи можно представить в виде

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^n A_i \text{ ув} - \sum_{i=1}^p A_i \text{ ум}, \quad (1)$$

где индекс «у» относится к замыкающему звену, а индекс «и» — к составляющим звеньям.

Это уравнение будет справедливо и в том случае, когда вместо номинальных взяты значения соответствующих действительных размеров размерной цепи.

Деталь по замыкающему размеру не обрабатывается. Он получается в результате обработки детали по другим связанным с ним размерам. В сборочных размерных цепях замыкающий размер определяется последовательностью сборки и зависит от размеров входящих в сборку

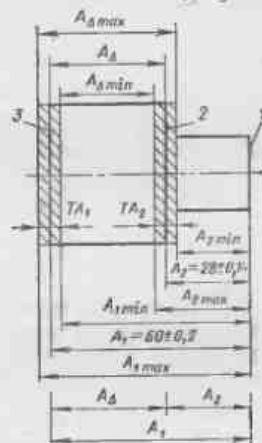


Рис. 2. Поддетальная размерная цепь

деталей, а также от размеров, определяющих положение поверхностей этих деталей относительно сборочных баз.

**Определение предельных размеров замыкающего звена.** Составляющие размеры могут изменяться в установленных допусках пределах. Как следует из рис. 2, при сочетании наибольших увеличивающих и наименьших уменьшающих составляющих размеров замыкающий размер будет иметь наибольшее значение, а при сочетании наименьших увеличивающих и наибольших уменьшающих составляющих размеров — наименьшее значение т. е.

$$A_{\Delta \max} = \sum_{i=1}^n A_{i \max \text{ ув}} - \sum_{i=1}^p A_{i \min \text{ ум}}; \quad (2)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{i=1}^n A_{i \min \text{ ув}} - \sum_{i=1}^p A_{i \max \text{ ум}}. \quad (3)$$

По уравнениям (2) и (3) определяем предельные размеры замыкающего звена для примера, показанного на рис. 2:

$$A_{\Delta \max} = 60,2 - 27,86 = 32,34 \text{ мм};$$

$$A_{\Delta \min} = 59,80 - 28,14 = 31,66 \text{ мм}.$$

Учитывая, что разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами есть допуск, и, вычитая почленно равенство (3) из равенства (2), получаем

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n TA_{i \text{ ув}} + \sum_{i=1}^p TA_{i \text{ ум}}.$$

Если принять общее число звеньев в цепи равным  $m$ , а общее число составляющих звеньев равным  $m - 1 = n + p$ , то

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i. \quad (4)$$

т. е. допуск замыкающего размера равен сумме допусков составляющих размеров. Например (см. рис. 2), при  $TA_1 = 0,40$  мм и  $TA_2 = 0,28$  мм равенство (4) справедливо, если суммировать погрешности всех составляющих размеров. Тогда погрешность замыкающего звена равна алгебраической сумме погрешностей всех составляющих звеньев. Это имеет место также и в каждый момент времени при работающем механизме. Поэтому, чтобы обеспечить наименьшую погрешность замыкающего звена, размерная цепь должна состоять из возможно меньшего числа звеньев, т. е. необходимо при конструировании изделий соблюдать принцип кратчайшей цепи. Кроме того, порядок обработки и сборки деталей нужно строить (если это возможно) таким образом, чтобы замыкающим

размером являлся менее ответственный размер (его погрешность будет наибольшей).

На основании уравнения (4) напишем формулу для определения допуска любого составляющего размера  $TA_q$  при условии, что известны допуски остальных размеров цепи, включая замыкающий,

$$TA_q = TA_{\Delta} - \sum_{i=1}^{m-2} TA_i. \quad (5)$$

где суммируются допуски всех составляющих звеньев, кроме допуска звена  $A_q$ .

Выведем уравнения, необходимые для определения предельных отклонений замыкающего размера. В ряде случаев при расчете удобно пользоваться координатой середины поля допуска  $Ec(A_i)$  и половиной поля допуска  $\frac{TA_i}{2}$  (рис. 3).

Для любого составляющего звена верхнее  $Es$  и нижнее  $Ei$  отклонения соответственно равны

$$Es(A_i) = Ec(A_i) + \frac{TA_i}{2}; \quad Ei(A_i) = Ec(A_i) - \frac{TA_i}{2}. \quad (6)$$

По аналогии

$$Es(A_{\Delta}) = Ec(A_{\Delta}) + \frac{TA_{\Delta}}{2}; \quad Ei(A_{\Delta}) = Ec(A_{\Delta}) - \frac{TA_{\Delta}}{2}. \quad (7)$$

Выразим наибольший предельный размер в виде алгебраической суммы номинального размера и верхнего отклонения, а наименьший предельный размер — в виде алгебраической суммы номинального размера и нижнего отклонения. Пресобразуя уравнения (2) и (3), получим

$$A_{\Delta \max} + Es(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n [A_i + Es(A_i)]_{\text{ув}} - \sum_{i=1}^p [A_i + Ei(A_i)]_{\text{ум}}; \quad (8)$$

$$A_{\Delta \min} + Ei(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n [A_i + Ei(A_i)]_{\text{ув}} - \sum_{i=1}^p [A_i + Es(A_i)]_{\text{ум}}. \quad (9)$$

Величина  $A_{\Delta}$  может быть определена по уравнению (1). Вычитая почленно из уравнений (8) и (9) уравнение (1), получим соответственно

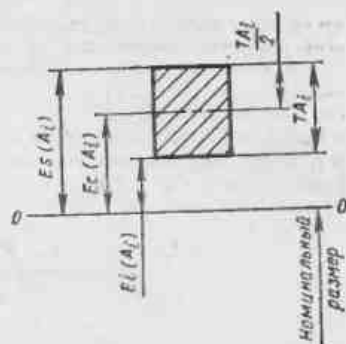


Рис. 3. Координата середины поля допуска  $Ec(A_i)$ , верхнее и нижнее отклонения составляющего звена  $Es(A_i)$ ,  $Ei(A_i)$



уравнения для определения верхнего и нижнего отклонений замыкающего звена:

$$Es(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n Es(A_i)_{yв} - \sum_{i=1}^p Ei(A_i)_{yм}; \quad (10)$$

$$Ei(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n Ei(A_i)_{yв} - \sum_{i=1}^p Es(A_i)_{yм}. \quad (11)$$

По формулам (10) и (11) найдем отклонения замыкающего звена размерной цепи, изображенной на рис. 2:

$$Es(A_{\Delta}) = 0,2 - (-0,14) = 0,34 \text{ мм};$$

$$Ei(A_{\Delta}) = -0,2 - (+0,14) = -0,34 \text{ мм}.$$

Таким образом, замыкающий размер  $A_{\Delta} = 32 \pm 0,34$ .

Подставим в уравнения (10) и (11) значения предельных отклонений, выраженных через координату середины поля допуска по уравнениям (6) и (7):

$$Ec(A_{\Delta}) + \frac{TA_{\Delta}}{2} = \sum_{i=1}^n \left[ Ec(A_i) + \frac{TA_i}{2} \right]_{yв} - \sum_{i=1}^p \left[ Ec(A_i) - \frac{TA_i}{2} \right]_{yм};$$

$$Ec(A_{\Delta}) - \frac{TA_{\Delta}}{2} = \sum_{i=1}^n \left[ Ec(A_i) - \frac{TA_i}{2} \right]_{yв} - \sum_{i=1}^p \left[ Ec(A_i) + \frac{TA_i}{2} \right]_{yм}.$$

Сложив почленно последние два уравнения и разделив сумму на 2, получим следующее выражение для определения координаты середины поля допуска замыкающего звена:

$$Ec(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n Ec(A_i)_{yв} - \sum_{i=1}^p Ec(A_i)_{yм}. \quad (12)$$

**Пример.** Определить номинальное, наибольшее и наименьшее значения и допуск замыкающего размера  $A_{\Delta}$  (рис. 4), если детали механизма по увеличивающим размерам изготовлены по Н10, а по уменьшающим — по h9.

Составляем схему размерной цепи (рис. 4, б) и выявляем по ней увеличивающие ( $\vec{A}_1, \vec{A}_2$ ) и уменьшающие ( $\vec{A}_3, \vec{A}_4, \vec{A}_5$ ) размеры.

Определим номинальное значение  $A_{\Delta}$  по уравнению (1):

$$A_{\Delta} = (101 + 50) - (5 + 140 + 5) = 1 \text{ мм}.$$

По таблицам СТ СЭВ 144-75 находим отклонения составляющих размеров:

$$A_1 = 101^{+0,14}; \quad A_2 = 50^{+0,10}; \\ A_3 = A_5 = 5_{-0,05}; \quad A_4 = 140_{-0,10}.$$

Когда одно из предельных отклонений составляющего размера равно нулю, его допуск равен абсолютному значению второго отклонения, а координата середины поля допуска равна половине этого допуска с тем же знаком, который имеет второе отклонение.

По уравнению (4) определяем допуск замыкающего размера

$$TA_{\Delta} = 140 + 100 + 30 + 100 + 30 = 400 \text{ мкм}.$$

По уравнению (12) находим координату середины поля допуска замыкающего размера:

$$Ec(A_{\Delta}) = Ec(A_1) + Ec(A_2) - [Ec(A_3) + Ec(A_4) + Ec(A_5)] = \\ = (70 + 50) - [-15 + (-50) + (-15)] = 200 \text{ мкм},$$

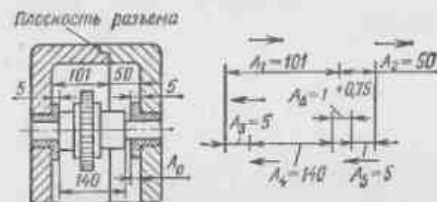


Рис. 4. Пример сборочной размерной цепи

Далее по формулам (10), (11) определяем верхнее и нижнее предельные отклонения замыкающего звена:

$$Es(A_{\Delta}) = Ec(A_{\Delta}) + \frac{TA_{\Delta}}{2} = 200 + \frac{400}{2} = 400 \text{ мкм};$$

$$Ei(A_{\Delta}) = Ec(A_{\Delta}) - \frac{TA_{\Delta}}{2} = 200 - \frac{400}{2} = 0.$$

Таким образом, замыкающий размер при заданных номинальных размерах и предельных отклонениях составляющих размеров может быть выполнен с точностью  $A_{\Delta} = 1^{+0,40}$  мм.

Правильность решения задачи можно проверить, определив по уравнениям (2) и (3) предельные размеры замыкающего звена:

$$A_{\Delta \text{ max}} = (101,14 + 50,10) - (4,97 + 139,90 + 4,07) = 1,4 \text{ мм};$$

$$A_{\Delta \text{ min}} = (101,0 + 50,0) - (5,0 + 140,0 + 5,0) = 1,0 \text{ мм}; \quad A_{\Delta} = 1^{+0,4} \text{ мм}$$

Проверка показала, что задача решена правильно.

Метод максимума-минимума применяют при расчете размерных цепей в условиях индивидуального и мелкосерийного производства изделий или для случаев, когда не допускается даже самая малая вероятность выхода параметров изделий за пределы их полей допусков. Это можно осуществить, предположив, что все отклонения параметров (размеров) в механизме будут иметь предельные значения, совпадающие с границами полей допусков, т. е. увеличивающие размеры должны принимать для всей партии деталей либо наибольшие допустимые значения либо наименьшие, а уменьшающие соответственно наименьшие либо наибольшие. Для такого самого неблагоприятного сочетания размеров в партии изделий определяется гарантированный допуск замыкающего звена.

Метод максимума-минимума при всех видах составляющих звеньев предполагает, что все звенья будут иметь предельные значения, соответствующие либо верхней либо нижней границе поля допуска, поэтому для расчета такой цепи следует применять уравнение (4).

Предположение, что действительные размеры годных деталей будут обязательно принимать либо наибольшие допустимые либо наименьшие допустимые значения, является нереальным, так как из-за неизбежных погрешностей изготовления и измерения размеры в партии деталей обычно отличаются для разных экземпляров. Отличаются и повторно снятые характеристики одного и того же процесса. Такое наблюдаемое различие в значениях величин, которые теоретически должны быть одинаковыми, принято называть рассеянием.

Точность при наличии рассеяния величин оценивают с помощью вероятностных (статистических) характеристик. В соответствии с используемыми характеристиками звеньев метод расчета размерных цепей назван теоретико-вероятностным.

Вторая задача. Допуски составляющих размеров цепи при заданном допуске исходного (замыкающего) размера рассчитывают четырьмя способами.

При способе разных допусков на заданной величине  $TA_{\Delta}$  определяют средний допуск составляющего размера  $T_m A_i$  с использованием формулы (4):

$$T_m A_i = \frac{TA_{\Delta}}{m-1}. \quad (13)$$

Найденное значение  $T_m A_i$  корректируют, учитывая требования конструкции и возможность применения таких процессов изготовления деталей, экономическая точность которых близка к требуемой точности размеров.

Правильность решения задачи проверяют по уравнению (4). При этом добиваются, чтобы

$$TA_{\Delta} \geq \sum_1^{m-1} TA_i.$$

При способе допусков одного качества предполагают, что все составляющие цепи размеры могут быть выполнены по какому-либо одному качеству, а допуски составляющих размеров зависят от их номинального значения. Известными являются номинальные размеры всех звеньев цепи и предельные отклонения исходного (замыкающего) звена. Требуемый квалитет определяют следующим образом.

Величина допуска каждого составляющего размера  $T = ai$ , где  $i$  — единица допуска. Для размеров от 1 до 500 мм  $i = 0,45 \sqrt[3]{A_m} + 0,001 A_m$ , где  $A_m$  — средний размер для интервала диаметров по ЕСДП СЭВ, к которому относится данный линейный размер.

Тогда

$$TA_i = a_i [0,45 \sqrt[3]{A_m} + 0,001 A_m],$$

где  $a_i$  — число единиц допуска, содержащееся в допуске данного  $i$ -го размера.

Далее согласно уравнению (4) можно написать

$$TA_{\Delta} = a_1 (0,45 \sqrt[3]{A_{1m}} + 0,001 A_{1m}) + \dots + a_{m-1} (0,45 \sqrt[3]{A_{(m-1)}} + 0,001 A_{(m-1)}).$$

Принимая по условию задачи  $a_1 = a_2 = \dots = a_{m-1} = a_c$ , получим

$$TA_{\Delta} = a_c \sum_{i=1}^{m-1} (0,45 \sqrt[3]{A_{ic}} + 0,001 A_{ic}),$$

откуда

$$a_c = \frac{TA_{\Delta}}{\sum_{i=1}^{m-1} (0,45 \sqrt[3]{A_{ic}} + 0,001 A_{ic})}, \quad (14)$$

где  $TA_{\Delta}$  — в мкм,  $A_{im}$  — в мм.

По  $a_c$  выбирают ближайший квалитет. Число единиц допуска  $a_c$ , полученное по формуле (14), в общем случае не будет равняться какой-либо из величин  $a$ , определяющих квалитет по ЕСДП СЭВ. Поэтому, выбрав ближайший квалитет и найдя по таблицам ЕСДП СЭВ величины допусков составляющих размеров в соответствии с их номинальной величиной, корректируют их значение, учитывая конструктивно-эксплуатационные требования и возможность применения такого процесса изготовления, экономическая точность которого близка к требуемой точности размеров. Допуски для охватывающих размеров рекомендуются определять как для основного отверстия, а для охватываемых — как для основного вала. При этом должно выполняться уравнение (4).

После нахождения величин допусков  $TA_1, TA_2, \dots, TA_{m-1}$  по заданным величинам  $E_s(A_{\Delta})$  и  $E_s(A_{\Delta})$  определяют величины и знак верхних и нижних отклонений составляющих размеров так, чтобы они удовлетворяли уравнениям (10) и (11). Приемлемость предельных отклонений составляющих размеров можно проверить также через величины  $E_s(A_i)$  по уравнению (12).

Решение второй задачи способом назначения допусков одного качества является более обоснованным по сравнению со способом разных допусков.

Способ пробных расчетов заключается в том, что допуски на составляющие размеры назначают экономически целесообразными для условий предстоящего вида производства с учетом конструктивных требований и опыта эксплуатации имеющихся подобных механизмов. Для повышения точности, надежности, долговечности и обеспечения функциональной взаимозаменяемости машины допуски и предельные отклонения исходного и составляющих размеров ответственных частей выпускаемых машин следует корректировать в сторону ужесточения с целью создания запаса на износ. После такого расчета размерной цепи проверяют выполнимость равенства (4). Если равенство не выполняется, то допуски, а иногда и номинальные значения составляющих размеров вновь корректируют.

Способ *равного влияния* применяют при решении плоских и пространственных размерных цепей. Он основан на том, что допускаемое отклонение каждого составляющего размера должно оказывать одинаковое изменение исходного (замыкающего) размера.

### 3. ТЕОРЕТИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА

При теоретико-вероятностном методе расчета размерных цепей предполагается, что размеры в партии обрабатываемых деталей группируются около математического ожидания или среднего арифметического размера.

Используя предельные теоремы теории вероятностей, получаем

$$TA_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} TA_i^2}. \quad (15)$$

Как следует из формулы (15), допуск замыкающего звена определяется путем квадратического суммирования допусков составляющих звеньев. Преимущество квадратического суммирования допусков для определения ожидаемого, вполне вероятного допуска замыкающего звена, перед суммированием по методу максимума-минимума можно показать на примере.

**Пример.** Дана пятизвенная размерная цепь, состоящая из четырех составляющих и одного замыкающего звеньев.

Допуски составляющих звеньев равны между собой. Требуется, применяя метод максимума-минимума и теоретико-вероятностный метод расчета, определить допуск замыкающего звена. Пусть  $TA_1 = TA_2 = TA_3 = TA_4 = 2$  мкм, требуется определить  $TA_{\Delta} = TA_{\Delta}$ .

1. Метод максимума-минимума:

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i = 2 + 2 + 2 + 2 = 8 \text{ мкм.}$$

2. Метод теоретико-вероятностный:

$$TA_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} TA_i^2} = \sqrt{2^2 + 2^2 + 2^2 + 2^2} = 4 \text{ мкм.}$$

Если предположить, что замыкающее звено является исходным, т. е. его точность является важным условием работоспособности механизма, то при квадратическом суммировании мы с меньшим риском выхода за пределы поля допуска сможем вдвое расширить допуски составляющих звеньев (для данного примера) и все равно получим для замыкающего звена тот же допуск, что и для суммирования по методу максимума-минимума:

$$TA_{\Delta} = \sqrt{4^2 + 4^2 + 4^2 + 4^2} = 8 \text{ мкм.}$$

Нахождение предельных отклонений размеров по формулам (10) и (11) при теоретико-вероятностном методе расчета недопустимо, так как эти формулы были выведены из предположения, что все размеры в партии деталей будут принимать только предельные наибольшие или наименьшие значения.

При теоретико-вероятностном методе расчета предельные отклонения размеров определяются по формулам.

1. Для симметричных законов распределения размеров

$$Es(A_i) = Em(A_i) + \frac{TA_i}{2}, \quad (16)$$

где  $Em$  — математическое ожидание или ожидаемое отклонение размера;

$$Ei(A_i) = Em(A_i) - \frac{TA_i}{2}; \quad (17)$$

$$Es(A_{\Delta}) = Em(A_{\Delta}) + \frac{TA_{\Delta}}{2}; \quad (18)$$

$$Ei(A_{\Delta}) = Em(A_{\Delta}) - \frac{TA_{\Delta}}{2}. \quad (19)$$

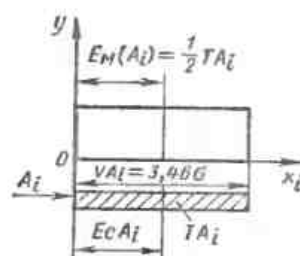


Рис. 5. Распределение равной вероятности

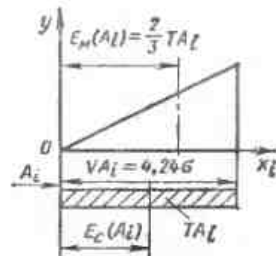


Рис. 6. Распределение равномерного возрастания плотности вероятности

2. Для несимметричных законов распределения размеров

$$Es(A_i) = Em(A_i) - \alpha_i \frac{TA_i}{2} + \frac{TA_i}{2}; \quad (20)$$

$$Ei(A_i) = Em(A_i) - \alpha_i \frac{TA_i}{2} - \frac{TA_i}{2}; \quad (21)$$

$$Es(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^{m-1} \left[ Em(A_i) - \alpha_i \frac{TA_i}{2} \right] + \frac{TA_{\Delta}}{2}; \quad (22)$$

$$Ei(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^{m-1} \left[ Em(A_i) - \alpha_i \frac{TA_i}{2} \right] - \frac{TA_{\Delta}}{2}. \quad (23)$$

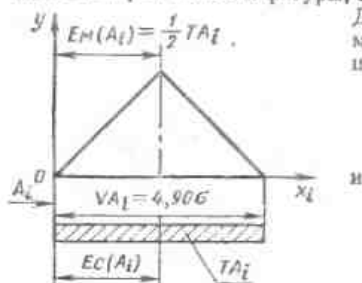
В практических инженерных расчетах кроме нормального закона распределения, характеризующего симметричное распределение размеров относительно математического ожидания при автоматически настроенном оборудовании и отсутствии доминирующих факторов (износа режущего инструмента, нагрева деталей и т. п.), применяют законы, рассматриваемые ниже.

Закон *равной вероятности* (рис. 5) имеет место в случае, если доминирующий фактор равномерно изменяется во времени. Практический интервал с вероятностью охвата всех размеров равной 0,9973, для такого закона распределения составляет  $VA_i = 3,46\sigma$ .

Так как закон распределения размеров симметричен относительно математического ожидания, то  $Ec(A_i) = Em(A_i)$ .

Закон *равномерного возрастания плотности вероятности* (рис. 6) получается, если доминирующий фактор равномерно убывает во вре-

мени. Практический интервал с вероятностью охвата всех размеров, равной 0,9973, для такого закона распределения будет  $VA_i = 4,24\sigma$ . Этот закон распределения размеров несимметричен относительно математического ожидания. Для него  $Ec(A_i) \neq Em(A_i)$ . Координата центра группирования или математического ожидания, как известно, совпадает с центром тяжести фигуры, которая характеризует распределение.



Для треугольника при условии совмещения номинального размера с вершиной треугольника имеем

$$Em(A_i) = \frac{2}{3} TA_i \quad (24)$$

$$Ec(A_i) = \frac{1}{2} TA_i.$$

Рис. 7. Распределение равнобедренного треугольника

Следовательно, используя (20—23), имеем

$$\alpha_i = \frac{Em(A_i) - Ec(A_i)}{0,5TA_i} = \frac{\frac{2}{3} TA_i - \frac{1}{2} TA_i}{0,5TA_i} = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Закон равнобедренного треугольника (Симпсона) (рис. 7) представляет собой распределение, при котором изменение доминирующего фактора носит переменный характер. Для этого закона практический интервал с вероятностью охвата всех размеров, равной 0,9973, составляет  $VA_i = 4,90\sigma$ . Для этого закона  $Em(A_i) = Ec(A_i)$ .

Степень отличия распределения размеров любого теоретического закона, по которому предполагается распределение действительного размера, от нормального закона, принято оценивать коэффициентом относительного рассеяния. В литературных источниках используются различные формулы для расчета этого коэффициента:

$$k_i = \frac{6\sigma_i}{T_i}, \quad (25)$$

$$\lambda_i = \frac{4\sigma_i^2}{T_i^2}, \quad (26)$$

$$\rho_i = \rho_i = \frac{2\sigma}{T_i}. \quad (27)$$

Коэффициенты  $k_i$ ,  $\lambda_i$  и  $\rho_i$  связаны между собой формулами

$$k_i = 9\lambda_i, \quad (28)$$

$$k_i = 3\lambda_i, \quad (29)$$

$$k_i = 3\rho_i. \quad (30)$$

Наибольшее распространение получил коэффициент  $k_i$ . Это объясняется тем, что для нормального распределения размеров (наиболее распространенный в машиностроении случай) коэффициент  $k_i = 1$ . Действительно, для нормального распределения  $T_i = 6\sigma_i$ , следовательно,

$k_i = \frac{6\sigma_i}{6\sigma_i} = 1$ . Для рассмотренных выше распределений, отличных от нормального, имеем:

закон равной вероятности

$$k_i = \frac{6\sigma_i}{T_i} = \frac{6\sigma_i}{3,46\sigma_i} = 1,73;$$

закон равномерного возрастания плотности вероятности

$$k_i = \frac{6\sigma_i}{T_i} = \frac{6\sigma_i}{4,24\sigma_i} = 1,41;$$

закон Симпсона

$$k_i = \frac{6\sigma_i}{T_i} = \frac{6\sigma_i}{4,90} = 1,22.$$

Для определения допуска замыкающего звена на стадии конструирования при уверенности конструктора, что законы распределения составляющих размеров будут совпадать с теоретическими, следует использовать формулу

$$TA_\Delta = \sqrt{\sum_1^{m-1} TA_i^2 k_i^2}. \quad (31)$$

Эта формула справедлива для многозвенных линейных цепей (при числе составляющих звеньев  $m-1 > 0$ ).

Для плоских или пространственных цепей допуск замыкающего звена

$$TA_\Delta = \sqrt{\sum_1^{m-1} TA_i^2 k_i^2 u_i^2}. \quad (32)$$

Предельные размеры замыкающего звена находят, используя формулы для определения координаты середины поля допуска по известным значениям координат центра группирования (математических ожиданий) составляющих и замыкающего звеньев:

$$Es(A_\Delta) = Em(A_\Delta) - \alpha_\Delta \frac{TA_\Delta}{2} + \frac{TA_\Delta}{2}; \quad (33)$$

$$Ei(A_\Delta) = Em(A_\Delta) - \alpha_\Delta \frac{TA_\Delta}{2} - \frac{TA_\Delta}{2}. \quad (34)$$

При этом  $\alpha_\Delta \neq 0$ , если:

1) законы распределения размеров составляющих звеньев несимметричны ( $\alpha_i \neq 0$ );

2) среди составляющих звеньев с любыми законами распределения нет двух или более звеньев, имеющих  $\alpha_i = 0$  и допуски, превосходящие по величине в два раза или более допуски остальных звеньев;

3) среди составляющих звеньев с любыми законами распределения нет пяти или более звеньев с однородными по величине допусками (отличающимися не более чем на 20–30%), превосходящими в два раза или более допуски остальных звеньев.

При нарушении одного из этих условий  $\alpha_\Delta = 0$ . Перечислим условия введения коэффициента  $k_\Delta$ :

1) законы распределения составляющих звеньев отличаются от нормальных (Гауссовых), т. е.  $k_i \neq 1$ ;

2) среди составляющих звеньев с любыми законами распределения нет двух звеньев или более, имеющих  $k_i = 1$  и допуски, в два раза или более превышающие допуски остальных звеньев;

3) среди составляющих звеньев с любыми законами распределения нет пяти или более звеньев с однородными допусками, превышающими в два раза или более допуск остальных звеньев;

4) число составляющих звеньев менее шести и погрешности размеров и их распределений отличаются от нормального закона.

При наличии всех или одного из перечисленных условий в формулу (32) вводится коэффициент  $k_\Delta$ :

$$TA_\Delta = \frac{1}{k_\Delta} \sqrt{\sum_1^{m-1} TA_i^2 k_i^2 u_i^2}, \quad (35)$$

где  $k_\Delta$  — коэффициент относительного рассеяния замыкающего звена при отличии законов распределения составляющих звеньев от нормального и числа их менее шести.

Точные значения  $\alpha_\Delta$  и  $k_\Delta$  для использования в расчетных формулах (33) и (35) следует определять в соответствии с ГОСТ 19415—74 путем комбинирования заданных функций распределения составляющих звеньев.

Если может быть допущен больший или меньший риск ( $Q \neq 0,27\%$ ), то в формулу (30) вводится коэффициент риска  $t'$ \*

$$TA_\Delta = \frac{1}{k_\Delta t'} \sqrt{\sum_1^{m-1} u_i^2 k_i^2 TA_i^2}. \quad (36)$$

Значения коэффициента риска приведены ниже:

Q, %	0,05	0,1	0,2	0,27	0,5
$t'$	0,86	0,91	0,97	1,00	1,05
Q, %	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0
$t'$	1,16	1,23	1,29	1,38	1,46

\*  $t'$  показывает степень отличия допуска замыкающего звена при реальном распределении от допуска замыкающего звена при нормальном распределении, для которого риск выхода за пределы поля допуска составляет 0,27%.

Таким образом, при допусковом риске выхода значений замыкающего размера за пределы поля допуска, равном 5%, в сравнении со стандартным риском, равным 0,27%, можно расширить допуски составляющих звеньев примерно в 1,5 раза.

Если конструктор при проведении точностных расчетов не имеет достоверной информации о законах распределения составляющих звеньев, а следовательно, и величинах  $TA_i, k_i, \alpha_i$ , он обязан корректировать допуски на составляющие звенья по результатам статистического анализа точностных характеристик технологических процессов после изготовления установочных или контрольных серий изделий.

Корректировку допусков следует производить только в тех случаях, когда имеются несоответствия между расчетными и фактическими значениями коэффициентов относительной асимметрии  $\alpha_i$ , относительного рассеяния  $k_i$  и полями допуска  $TA_i$  и полями рассеяния  $V_i$ . Следовательно, при наличии указанных несоответствий может получиться  $V_\Delta > TA_\Delta$ , что недопустимо. В общем случае рассеяние  $V$  — область всех возможных значений параметра (размера). В расчетах, приводимых выше, рассеяние  $V$  обрубалось в интервале  $VA_i$  с вероятностью попадания в этот интервал 99,73%. Предполагалось, что  $V = T$  с риском выхода за пределы интервала  $VA_i$ , равным  $Q = 0,27\%$ . На практике часто  $VA_\Delta \neq TA_\Delta$ . Это означает либо брак производства ( $VA_\Delta > TA_\Delta$ ), либо экономически нецелесообразное сужение допусков на составляющие звенья ( $V_\Delta < T_\Delta$ ). Целью корректировки допусков является обеспечение заданной точности исходного (замыкающего) звена путем сужения или расширения величин допусков на составляющие звенья. Корректировку допусков проводят в соответствии с ГОСТ 19416—74. Расчет уточненных коэффициентов  $\alpha_i, k_i$ , а также полей допусков  $TA_i$ , соответствующих  $V_i$ , производят по общим представительным выборкам, достаточно полно характеризующим точностные особенности технологической операции.

Выборку для оценки величин  $\alpha_i, k_i, V_i$  следует составлять при помощи таблицы случайных чисел из общей выборки, составленной из отдельных деталей или групп деталей, обработанных при различных настройках оборудования, в различные смены, из разных партий одинаковых материалов или заготовок. Если одна операция выполняется группой станков, в общую выборку включаются детали, обработанные на каждом из них.

Для технологических операций, на которых внедрены статистические методы регулирования, допускается для расчета использовать данные контрольных карт.

При отсутствии данных о параметрах распределения размеров можно рекомендовать ориентировочные значения коэффициентов  $\alpha_i$  и  $k_i$ , полученные в результате многочисленных исследований технологических процессов для деталей некоторых широко распространенных типов размеров (табл. 1).

Кроме того, если с помощью приведенной таблицы не удается определить числовые значения коэффициентов  $k_i$  и  $\alpha_i$ , то допускается (для предварительных расчетов, а также для окончательных расчетов при затруднениях в получении опытных данных) принимать следующие значения указанных коэффициентов:

для размеров охватывающих поверхностей  $k_i = 1,2; \alpha_i = -0,2$ ;  
для размеров охватываемых поверхностей  $k_i = 1,2; \alpha_i = 0,2$ .

1. Значения коэффициентов  $k_i$  и  $\alpha_i$  и допусков  $TA_i$  на основные размеры деталей

Размеры деталей	Технологическая операция	$TA_i$	$k_i$	$\alpha_i$
Расстояние от оси отверстия до базовой поверхности	Шагреневые плоскости с выверкой по оси отверстия	0,04—0,10	1,3—1,4	От -0,2 до -0,4
	Шлифованные плоскости с выверкой по оси отверстия	0,04—0,12	1,3—1,4	> -0,2 > 0,4
Расстояние между осями отверстий	Фрезерование плоскости с выверкой по оси отверстия	0,10—0,40	1,1—1,3	> 0 > 0,3
	Расширительные отверстия:			
Расстояние между осями отверстий	на расточном или сверлящем станке в приспособлении	0,1—0,3	1,0—1,2	> 0
	на алмазно-расточном станке	0,04—0,15	1,1—1,2	> 0
Расстояние между стержнями охватываемой поверхностью	Обработка отверстий на расточном или сверлящем станке в приспособлении	0,1—0,3	1,0—1,2	> 0
	Обработка отверстий на алмазно-расточном станке	0,04—0,10	1,1—1,3	> 0
Расстояние между стержнями охватываемой поверхностью	Шлифование	0,02—0,1	1,2—1,4	От 0 до -0,3
	Обработка на фрезерных, строгальных и расточных станках	0,1—1,0	1,1—1,3	> 0 > -0,3
Расстояние между стержнями охватываемой поверхностью	Обработка на токарных, револьверных станках и автоматах	0,1—0,4	1,1—1,3	> 0 > -0,2
	Шлифование	0,02—0,2	1,2—1,4	> 0 > +0,2
Диаметры наружных цилиндрических поверхностей	Обработка на фрезерных, строгальных и расточных станках	0,1—1,0	1,1—1,3	> 0 > +0,3
	Обработка на токарных и револьверных станках в автоматах	0,1—0,4	1,1—1,3	> 0 > +0,3
Диаметры отверстий	Отрезка на специальных станках	0,5—2,0	1,2—1,7	> 0 > +0,4
	Шлифование в центрах	0,01—0,1	1,2—1,4	> 0 > +0,1
Диаметры отверстий	Бесцентровое шлифование	0,02—0,1	1,1—1,2	> 0 > +0,1
	Обработка на токарных, карусельных, револьверных станках и автоматах	0,1—0,5	1,1—1,3	> 0 > +0,2
Диаметры отверстий	Шлифование	0,01—0,1	1,1—1,3	> 0 > -0,2
	Протягивание	0,01—0,1	1,0—1,2	> 0 > -0,1
Диаметры отверстий	Резьбление	0,01—0,1	1,0—1,2	> 0 > -0,1
	Обработка на алмазно-расточных станках	0,02—0,1	1,0—1,2	> 0 > -0,2
Сверление	Обработка на расточных станках	0,02—0,2	1,1—1,2	> 0 > -0,2
	Сверление	0,1—0,3	1,0—1,2	> 0 > -0,2
Радиальное боковое отверстие	Шлифование	0,01—0,02	1,14	> -0,3
	Обработка на токарных, револьверных станках и автоматах	0,02—0,1	1,2	> -0,3
Осяевые боковые поверхности	Шлифование	0,01—0,1	1,14	> -0,3
	Обработка на токарных, револьверных станках и автоматах	0,02—0,1	1,2	> -0,3

## 4. МЕТОД РЕГУЛИРОВАНИЯ

Под методом регулирования понимают такой расчет размерных цепей, при котором предписанная точность исходного (замыкающего) размера достигается predetermined изменением (регулируемым) величиной одного из заранее выбранных составляющих размеров, называемого компенсирующим. Роль компенсатора обычно выполняет специальное звено в виде прокладки, регулируемого упора, клина и т. д. При этом по всем остальным размерам цепи детали обрабатывают по расширенным допускам, экономически приемлемым для данных производственных условий. Недостатком такого расчета является усложнение конструкции. Примером компенсатора может являться набор сменных прокладок, вводимых в сборочную размерную цепь.

Номинальный размер компенсатора  $A_k$  определяют из уравнения

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n A_{i,ув} - \sum_{i=1}^p A_{i,ум} \pm A_k, \quad (37)$$

где увеличивающие звенья имеют индексы от 1 до  $n$ . Остальные звенья уменьшающие. Знак «+» соответствует случаю, когда  $A_k$  — увеличивающее звено, а знак «-» когда  $A_k$  — уменьшающее звено. Диапазон компенсации определяют из уравнения

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i - V_k, \quad (38)$$

где  $V_k$  — наибольшее возможное расчетное изменение размера компенсатора\*.

Формула (38) справедлива и для  $A_k$  увеличивающего, и для  $A_k$  уменьшающего.

Предельные размеры в цепи связаны соотношениями, вытекающими из того, что если  $A_k$  является увеличивающим звеном, то в том случае, когда все остальные увеличивающие размеры деталей, поступающих в сборку, имеют наибольшие допустимые величины, размер  $A_k$  для компенсации их погрешностей следует делать наименьшим; если  $A_k$  уменьшающее, его размер должен быть наименьшим при наибольших значениях уменьшающих и т. д.

\* В ГОСТ 16 319—70 наибольшее возможное расчетное изменение размера компенсатора обозначено через  $\delta_k$ .

Для  $A_k$  увеличивающего координата середины поля допуска определится из уравнения

$$Ec(A_\Delta) = \sum_{i=1}^n Ec(A_i)_{ув} - \sum_{i=1}^p Ec(A_i)_{ум} + Ec(A_k). \quad (39)$$

Для  $A_k$  уменьшающего

$$Ec(A_\Delta) = \sum_{i=1}^n Ec(A_i) - \sum_{i=1}^p Ec(A_i) - Ec(A_k). \quad (40)$$

Предельные отклонения  $A_k$

$$Es(A_k) = Ec(A_k) + \frac{V_k}{2}; \quad Ei(A_k) = Ec(A_k) - \frac{V_k}{2}. \quad (41)$$

Для  $A_k$  увеличивающего: предельные размеры компенсатора

$$A_{\Delta \max} = \sum_{i=1}^n (A_i)_{\max}{}_{ув} - \sum_{i=1}^p (A_i)_{\min}{}_{ум} + A_k \min; \quad (42)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{i=1}^n (A_i)_{\min}{}_{ув} - \sum_{i=1}^p (A_i)_{\max}{}_{ум} + A_k \max \quad (43)$$

и предельные отклонения

$$Es(A_\Delta) = \sum_{i=1}^n Es(A_i)_{ув} - \sum_{i=1}^p Ei(A_i)_{ум} + Ei(A_k); \quad (44)$$

$$Ei(A_\Delta) = \sum_{i=1}^n Ei(A_i)_{ув} - \sum_{i=1}^p Ei(A_i)_{ум} + Es(A_k); \quad (45)$$

для  $A_k$  уменьшающего: предельные размеры

$$A_{\Delta \max} = \sum_{i=1}^n (A_i)_{\max}{}_{ув} - \sum_{i=1}^p (A_i)_{\min}{}_{ум} - A_k \max; \quad (46)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{i=1}^n (A_i)_{\min}{}_{ув} - \sum_{i=1}^p (A_i)_{\max}{}_{ум} - A_k \min; \quad (47)$$

предельные отклонения

$$Es(A_\Delta) = \sum_{i=1}^n Es(A_i)_{ув} - \sum_{i=1}^p Ei(A_i)_{ум} - Es(A_k); \quad (48)$$

$$Ei(A_\Delta) = \sum_{i=1}^n Ei(A_i)_{ум} - \sum_{i=1}^p Es(A_i)_{ув} - Ei(A_k). \quad (49)$$

Так как в формулах (37)–(42) неизвестными обычно являются размеры и отклонения компенсатора, то при решении уравнений эти

величины следует переносить в левую часть, а размеры и отклонения  $A_i$  — в правую (так как они заданы).

**Пример.** На рис. 8 изображена часть редуктора, детали которого изготавливают по 10-му качеству. Зазор  $S = A_\Delta$  должен быть выдержан в пределах 1–1,5 мм. Номинальные размеры, составляющие размерную цепь:  $A_1 = 335$  мм;  $A_2 = 50$  мм;  $A_3 = 75$  мм;  $A_4 = 60$  мм;  $A_5 = 100$  мм;  $A_6 = 1$  мм;  $A_k = 50$  мм.

**Решение.**

Замыкающее звено  $A_\Delta = 1^{+0,5}$ ,  $TA_\Delta = 500$  мкм. Размеры  $A_1$  и  $A_k$  увеличивающие,  $A_2, A_3, A_4, A_5$  и  $A_6$  уменьшающие. Допуски по 10-му качеству (мкм):  $TA_1 = 230$ ,  $TA_2 = 100$ ,  $TA_3 = 120$ ,  $TA_4 = 120$ ,  $TA_5 = 140$ ,  $TA_6 = 100$ . Предполагая отклонения «в тело» детали, получим для охватываемых размеров:

$$A_1 = 335 - 0,23; \quad A_2 = 75 - 0,12;$$

$$A_3 = 60 - 0,12; \quad A_4 = 100 - 0,14.$$

Предполагая, что при окончательной обработке втулок размеры  $A_2$  и  $A_4$  увеличиваются, получим  $A_2 = 50^{+0,1}$  и  $A_4 = 60^{+0,1}$ . По условию  $TA_\Delta = 500$  мкм.

Номинальный размер  $A_k$  находим по формуле (37)

$$A_\Delta = A_1 + A_k - (A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6)$$

или  $1 = 335 + A_k - 335$ , откуда  $A_k = 1$  мм.

Диапазон компенсации

$$V_k = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i - TA_\Delta;$$

$$V_k = 230 + 100 + 120 + 120 + 140 + 100 - 500 = 310 \text{ мкм.}$$

Определим координату середины диапазона  $V_k$ . Координаты середины полей допусков:

увеличивающих звеньев (мм)

$$Ec(A_1) = -115;$$

уменьшающих звеньев

$$Ec(A_2) = +50; \quad Ec(A_3) = -63; \quad Ec(A_4) = -63;$$

$$Ec(A_5) = -70; \quad Ec(A_6) = +50;$$

замыкающего звена

$$Ec(A_\Delta) = +250.$$

По формуле (39) получим (учитывая, что  $A_k$  — увеличивающее)

$$+250 = -115 + Ec(A_k) - (+50 - 60 - 60 - 70 + 50),$$

откуда

$$Ec(A_k) = 265 - 90 = +275.$$

Верхнее и нижнее отклонения компенсатора по формулам (41) будут

$$Es(A_k) = +275 + \frac{310}{2} = +430;$$

$$Ei(A_k) = +275 - \frac{310}{2} = +140;$$

$$A_k = 1^{+0,43}_{-0,12}.$$

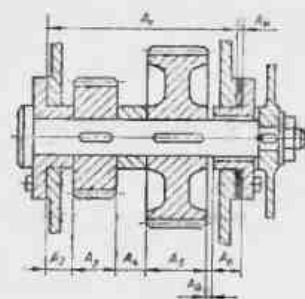


Рис. 8. Размерная цепь с компенсатором

Проверим по формуле (44):

$$E_s(A_{\Delta}) = E_s(A_1) + E_i(A_1) - [E_i(A_2) + E_i(A_3) + E_i(A_4) + E_i(A_5) + E_i(A_6)]$$

или

$$500 = 0 + 120 - (0 - 120 - 120 - 140 + 0) = 500.$$

Отклонения  $A_k$  найдены правильно.

$$A_{k \max} = 1,43 \text{ мм}; \quad A_{k \min} = 1,12 \text{ мм}.$$

Рассчитаем число и толщину прокладок. Размер  $A_{k \min}$  можно принять за толщину постоянной прокладки  $S_{\text{пост}} = 1,1$  мм. Число сменных прокладок

$$n = \frac{V_k}{TA_{\Delta}} + 1 = \frac{310}{500} + 1,$$

примем  $n = 2$ ; тогда толщина сменных прокладок

$$S = \frac{V_k}{n} = \frac{310}{2} = 155 \text{ мкм} \approx 0,2 \text{ мм}.$$

Расчет проверяют по формулам

$$S < TA_{\Delta}; \quad S_{\text{пост}} < A_{k \min}; \quad S_{\text{пост}} + nS \geq A_{k \max}.$$

Проверка:

$$S = 0,2 < 0,5; \quad 1,1 + 2 \cdot 0,2 = 1,5 > A_{k \max} = 1,12.$$

Набор прокладок будет состоять из одной постоянной прокладки и двух сменных.

В зависимости от действительных размеров деталей нужно устанавливать одну постоянную и одну или две сменные прокладки. Набор прокладок может состоять также из прокладок  $S_1 = 1,1$  мм;  $S_2 = 1,1 + 0,2 = 1,3$  мм;  $S_3 = 1,3 + 0,2 = 1,5$  мм. В этом случае будет устанавливаться одна из прокладок, т. е. так называемое простановочное кольцо.

## 5. МЕТОД ПРИГОНКИ

При этом методе предписанная точность исходного размера достигается дополнительной обработкой при сборке детали по одному из заранее намеченных составляющих размеров цепи. Здесь детали по всем размерам, входящим в цепь, изготавливают с допусками, экономически приемлемыми для данных условий производства.

Для того чтобы пригонка всегда осуществлялась за счет предварительно выбранного размера, называемого технологическим компенсатором, необходимо по этому размеру оставлять припуск на пригонку, достаточный для компенсации величины превышения исходного размера и вместе с тем наименьший для сокращения объема пригоночных работ.

Способ пригонки можно применять только в единичном и мелкосерийном производствах, когда нельзя использовать иные способы обеспечения требуемой точности. В единичном и мелкосерийном производствах, когда это допускается конструкцией изделия, применяют также способ совместной обработки деталей в предварительно собранном виде или способ обработки деталей, установленных в одном приспособлении.

## 6. МЕТОД ГРУППОВОЙ ВЗАИМОЗАМЕЯМОСТИ

Сущность этого метода заключается в изготовлении деталей со сравнительно широкими технологически выполнимыми допусками, выбираемыми из соответствующих стандартов, сортировке деталей на равное число групп с более узкими групповыми допусками и сборке их (после комплектования) по одноименным группам. Такую сборку называют селективной. Метод групповой взаимозаменяемости применяют тогда, когда средняя точность размеров цепи получается очень высокой и экономически непривлекательной.

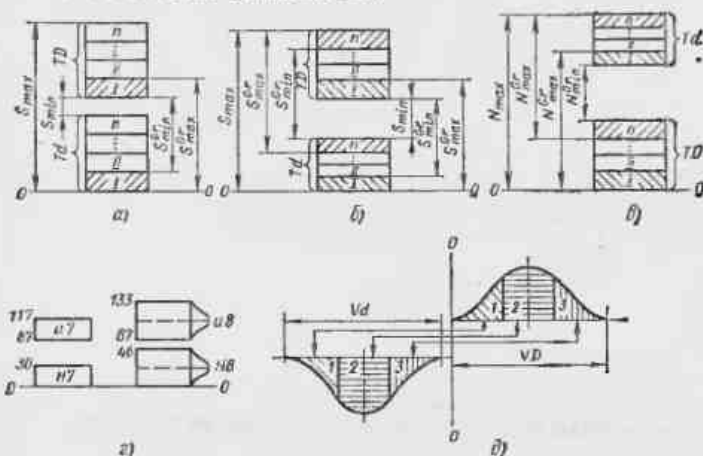


Рис. 9. Схемы сортировки деталей на группы: а — при  $TD = Td$ ; б — при  $TD > Td$  (с зазором); в — посадка с натягом; г — при  $TD > Td$  (с натягом); д — с учетом кривых распределения размеров

Как видно из схемы сортировки деталей (рис. 9), при селективной сборке (в посадках с зазором и натягом) наибольшие зазоры и натяги уменьшаются, а наименьшие увеличиваются, приближаясь к среднему значению зазора или натяга для данной посадки, что делает соединения более стабильными и долговечными. В переходных посадках наибольшие натяги и зазоры уменьшаются, приближаясь к среднему значению зазора или натяга для данной посадки, который соответствует серединам полей допусков деталей.

Для установления числа групп и сортировки деталей необходимо знать требуемые предельные значения групповых зазоров или натягов, которые находят из условия обеспечения наибольшей долговечности соединения, либо допустимую величину группового допуска  $TD^{Gr}$  или  $Td^{Gr}$ , определяемую экономической точностью сборки и сортировки деталей, а также величиной возможной погрешности их формы. Погрешности формы не должны превышать группового допуска, иначе одна и та же деталь может попасть в одну или другую ближайшую группу в зависимости от того, в каком сечении будет измеряться деталь при сортировке.



Рассмотрим случай определения числа  $n$  групп, когда в исходной посадке  $TD = Td$ . Для этого случая характерно, что групповой зазор или натяг остаются постоянными при переходе от одной группы к другой. При сборке деталей для повышения долговечности подвижных соединений необходимо создавать наименьший допустимый зазор, а для повышения надежности соединений с натягом — наибольший допустимый натяг. Подсчитывать число  $n$  групп можно по уравнениям:

при заданном  $S_{\min}^{Gr}$  (для подвижной посадки)

$$S_{\min}^{Gr} = S_{\min} + Td - \frac{Td}{n}; \quad (50)$$

при заданном  $N_{\max}^{Gr}$  (для посадки с натягом)

$$N_{\max}^{Gr} = N_{\max} - TD + \frac{TD}{n}. \quad (51)$$

При заданной величине группового допуска  $TD^{Gr}$  или  $Td^{Gr}$

$$\frac{TD}{n} = TD^{Gr}; \quad n = \frac{TD}{TD^{Gr}}; \quad \frac{Td}{n} = Td^{Gr}; \quad n = \frac{Td}{Td^{Gr}}.$$

При  $TD = Td$

$$n = \frac{TD}{TD^{Gr}} = \frac{Td}{Td^{Gr}}. \quad (52)$$

При  $TD > Td$  групповой зазор (или натяг) при переходе от одной группы к другой не остается постоянным, следовательно, однородность соединений не обеспечивается. Поэтому селективную сборку целесообразно применять при  $TD = Td$ .

Следует также иметь в виду, что при большом числе групп сортировки групповой допуск будет незначительно отличаться от допуска при меньшем числе групп, а организация контроля и сложность сборки значительно возрастут. Практически  $n_{\max} = 4-5$ , и лишь в подшипниковой промышленности при сортировке тел качения  $n$  достигает 10 и более.

**Пример.** По конструктивным требованиям для номинального диаметра 65 мм нужна посадка с наименьшим натягом 57 мкм и наибольшим натягом 117 мкм. Этим требованиям соответствует посадка H7/u7 (см. рис. 9, д). Однако она для данного конкретного производства технологически трудно выполнима. Оказывается возможным подобрать в 8-м квалитете посадку H8/u8, которая при разнице допуска на две группы и сборке деталей одноименных групп обеспечивает натяг в приемлемых пределах 64–110 мкм в каждой группе при расширении допусков на изготовление на 50%.

Селективную сборку применяют не только в сопряжениях гладких деталей цилиндрической формы, но и более сложных по форме, например резьбовых. По содержанию она вступо одинакова.

Селективная сборка позволяет в  $n$  раз повысить точность сборки (точность соединения) без уменьшения допусков на изготовление деталей или обеспечить заданную точность сборки (точность соединения) при расширении допусков до экономически целесообразных величин.

Вместе с тем селективной сборке присущи недостатки: усложняется контроль (требуется большой штат контролеров, более точные измерительные средства, контрольно-сортировочные автоматы); растет трудо-

емкость процесса сборки (в результате создания сортировочных групп) возможно увеличение незавершенного производства вследствие разного числа деталей в парных группах.

Селективная сборка обеспечивает неполную, групповую взаимозаменяемость, ввиду чего этот метод используют обычно в условиях завода-изготовителя при обеспечении внутренней взаимозаменяемости. Исключением, например, являются поршни, поршневые пальцы к двигателям внутреннего сгорания и некоторые другие запасные части.

Применение селективной сборки целесообразно в массовом и крупносерийном производствах для соединений высокой точности, когда дополнительные затраты на сортировку, маркировку, сборку и хранение деталей по группам окупаются высоким качеством изделий. При производстве подшипников качения, сборке ответственных резьбовых соединений с натягом селективная сборка является единственным экономически целесообразным методом обеспечения требуемой точности.

Для сокращения объемов незавершенного производства, образующегося при селективной сборке, строят эмпирические кривые распределения размеров соединяемых деталей. Если смещения центров группирования и кривые распределения размеров соединяемых деталей одинаковы и соответствуют, например, закону Гаусса, то количество собираемых деталей в одноименных группах будет одинаковым. Следовательно, только при идентичности кривых распределения сборки деталей одноименных групп (см. рис. 9) устраняет образование незавершенного производства.

Иногда деление допуска на равные части, выраженного в линейных величинах, заменяют делением на части, границы которых выражаются в  $\sigma$ . Так, если вторая группа имеет сортировочные границы  $\pm\sigma$ , то относительное количество деталей первой группы  $\Phi(3) - \Phi(1) = 0.5 - 0.3413 = 0.1587 = 15.87\%$ . Относительное количество деталей второй группы  $2\Phi(1) = 2 \cdot 0.3413 = 68.26\%$ . Относительное количество деталей третьей группы, как и первой,  $\Phi(3) - \Phi(1) = 15.87\%$ . Как видно, количество соединений, собранных из деталей второй группы, примерно в 4 раза больше, чем собранных из первой или третьей групп.

## 7. РАСЧЕТ ЗАВИСИМЫХ ДОПУСКОВ НА РАСТОЯНИЯ МЕЖДУ ОСЯМИ ОТВЕРСТИЙ

При изготовлении деталей неизбежно некоторое смещение осей отверстий от заданного номинального расположения. В этом случае валы (болты или шпильки) свободно войдут в отверстия только при наличии гарантированного зазора. Этот зазор является компенсатором отклонения расстояния между осями отверстий относительно номинального расстояния между ними и обеспечивает собираемость деталей. Допуски на расстояния между осями отверстий определяют исходя из наилучшего для сборки случая (полагают, что зазор в соединении равен наименьшему зазору  $S_{\min}$ , образуемому при сочетании наименьшего предельного размера отверстия и наибольшего предельного размера вала).

Соотношение между величиной зазора и величиной несоосности вала и отверстия. Обозначим действительные размеры отверстия через  $D$ , вала — через  $d$ , величину зазора — через  $S$  и величину несоосности — через  $e$ .

Размерная цепь (рис. 10), определяющая связь между величиной несоосности  $e$  отверстия и вала и величиной зазора  $S$ , будет  $\frac{d}{2} + e + \frac{D}{2} = d + S$ .

Преобразовывая это равенство (с учетом, что  $D - d = S$ ), получаем  $e = 0,5S$ .

Если вал проходит через два отверстия, то несоосность двух отверстий не должна превосходить полусуммы обих зазоров в этих сопряжениях, т. е.  $e = 0,5(S_1 + S_2)$ .

Расчет зависимых допусков на расстоянии между осями двух отверстий. При соединении деталей болтами (рис. 11, а) расстояние между осями отверстий  $L$  может изменяться в пределах от  $L_{\min}$  до  $L_{\max}$ . Тогда

$$L_{1 \max} - L_{2 \min} = e_1 + e_2 + e_3 + e_4. \quad (53)$$

Для противоположных предельных значений имеем

$$L_{2 \max} - L_{1 \min} = e_1 + e_2 + e_3 + e_4. \quad (54)$$

Складывая уравнения (53) и (54), получаем

$$(L_{1 \max} - L_{1 \min}) + (L_{2 \max} - L_{2 \min}) = 2(e_1 + e_2 + e_3 + e_4).$$

Разность между наибольшим и наименьшим значениями  $L$  есть  $TL$ , поэтому

$$TL_1 + TL_2 = 2(e_1 + e_2 + e_3 + e_4). \quad (55)$$

Рис. 10. Схема определения зазора при наличии отклонений от соосности отверстия и вала.

Допуская, что значения  $S_{\min}$  для всех сопряжений равны (что обычно имеет место при равных номинальных диаметрах отверстий), и заменяя  $e$  на  $0,5S_{\min}$ , получаем  $TL_1 + TL_2 = 4S_{\min}$ .

Если номинальные размеры  $L$  равны, то  $TL_1 = TL_2 = TL$ . В результате

$$TL = 2S_{\min}. \quad (56)$$

Обычно предельные отклонения координирующих размеров назначают симметричными, т. е. равными по абсолютной величине:

$$Es(L) = +\frac{TL}{2} = +S_{\min}; \quad Ei(L) = -\frac{TL}{2} = -S_{\min}. \quad (57)$$

При соединении деталей шпильками (рис. 11, б) лишь один их конец ввинчивают с натягом в резьбовое отверстие одной из деталей (рис. 11). Для этой детали величина несоосности  $e = 0$ . Если номиналь-

ные размеры  $L$  равны, то можно принять  $TL_1 = TL_2 = TL$ . В результате получим

$$TL = S_{\min};$$

$$EsL = +\frac{S_{\min}}{2}; \quad (58)$$

$$EiL = -\frac{S_{\min}}{2}. \quad (59)$$

Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей определяют двумя способами: 1) по предельному отклонению осей отверстий от номинального расположения и 2) по предельному отклонению размеров, координирующих оси отверстий.

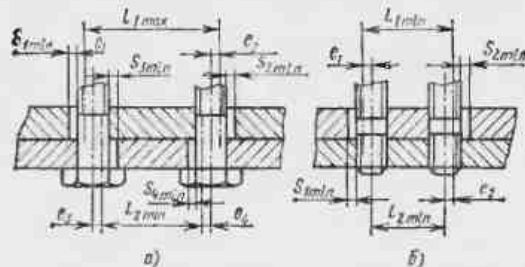


Рис. 11. Осевые соединения деталей: а — болтами; б — шпильками.

## В. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О РАСЧЕТЕ ПЛОСКИХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Плоские и пространственные размерные цепи рассчитывают теми же методами, что и линейные. Необходимо лишь привести их к виду линейных размерных цепей. Это достигается путем проектирования размеров плоской цепи на одно направление, обычно совпадающее с направлением исходного (или замыкающего) размера, а пространственной цепи — на две или три взаимно перпендикулярные оси.

В качестве примера рассмотрим плоскую размерную цепь с замыкающим (сборочным) размером  $A_{\Delta}$ , определяющим максимальное продольное перемещение толкателя (рис. 12, а). Приведем эту цепь к линейной (рис. 12, б), у которой  $A_1 = A_2 \cos \alpha$ .

Используя зависимости (4) и (35), определяем допуск замыкающего размера:

по методу максимума — минимума

$$TA_{\Delta} = \sum_1^{m-1} \frac{\partial A_{\Delta}}{\partial A_i} TA_i; \quad (60)$$

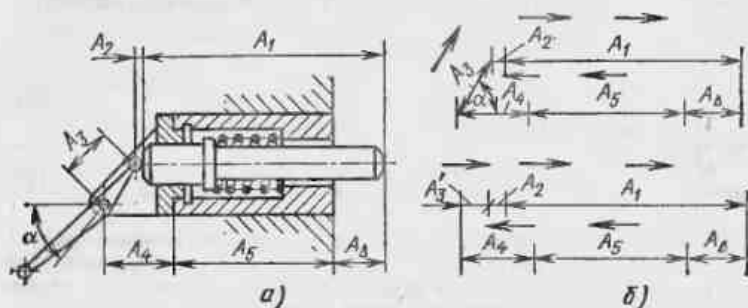


Рис. 12. Эскиз толкателя и схемы размерных цепей

теоретико-вероятностным методом:

$$TA_{\Delta} = \frac{1}{k_0} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \left( \frac{\partial A_{\Delta}}{\partial A_i} \right)^2 TA_i k_i^2}, \quad (61)$$

где  $\frac{\partial A_{\Delta}}{\partial A_i}$  — частная производная функция замыкающего размера по  $i$ -му составляющему размеру; ее называют также передаточным отношением  $u_i$ .

Передаточные отношения характеризуют степень и характер влияния погрешностей размеров составляющих звеньев на замыкающее. Для цепей с параллельными звеньями все передаточные отношения равны  $+1$  (для увеличивающих размеров) или  $-1$  (для уменьшающих). При определении допуска замыкающего (или исходного) размера передаточные отношения  $\frac{\partial A_{\Delta}}{\partial A_i}$  следует принимать по абсолютным значениям.

Определим допуск замыкающего размера  $x$  плоской размерной цепи (рис. 13). Номинальные размеры и допуски составляющих размеров, а также углы их наклона заданы. Углы  $\beta$  и  $\gamma$  допусками не ограничены.

Находим номинальную величину размера по уравнению

$$x_N = f(A_{1N}, A_{2N}) = A_{1N} \cos \beta + A_{2N} \cos \gamma.$$



Рис. 13. Плоская размерная цепь

Допуск замыкающего размера  $Tx$  по формуле (60)

$$Tx = \frac{\partial f}{\partial A_1} TA_1 + \frac{\partial f}{\partial A_2} TA_2, \quad (62)$$

где  $TA_1$  и  $TA_2$  — допуски составляющих размеров.

Передаточные отношения

$$\frac{\partial f}{\partial A_1} = \cos \beta; \quad \frac{\partial f}{\partial A_2} = \cos \gamma.$$

Тригонометрические функции углов условно считаем постоянными, так как погрешности сторон треугольника незначительны.

Подставляя найденные значения передаточных отношений в формулу (55), получаем уравнение для определения допуска (отклонения) замыкающего размера:

$$Tx = TA_1 \cos \beta + TA_2 \cos \gamma. \quad (63)$$

Если цепи рассчитывают теоретико-вероятностным методом, то находят координату середины поля допуска и допуск замыкающего размера. Координата середины поля допуска замыкающего размера

$$E_{cx} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial A_{iy}} \left[ Em(A_i) - \alpha_i \frac{TA_i}{2} \right]_{yn} - \sum_{i=1}^p \frac{\partial f}{\partial A_{iy}} \left[ Em(A_i) - \alpha_i \frac{TA_i}{2} \right]_{ym}. \quad (64)$$

Для рассматриваемого примера

$$E_{cx} = \left[ Em(A_1) - \alpha_1 \frac{TA_1}{2} \right] \cos \beta - \left[ Em(A_2) - \alpha_2 \frac{TA_2}{2} \right] \cos \gamma, \quad (65)$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — коэффициенты относительной асимметрии кривых распределения отклонений составляющих размеров.

Соответственно допуск замыкающего размера

$$Tx = \sqrt{k_1^2 TA_1^2 \cos^2 \beta + k_2^2 TA_2^2 \cos^2 \gamma},$$

где  $k_1$  и  $k_2$  — коэффициенты относительного рассеяния отклонений составляющих размеров.

## ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Резьбовые соединения широко распространены в машиностроении (в большинстве современных машин свыше 60% всех деталей имеют резьбу). По эксплуатационному назначению различают резьбы общего применения и специальные, предназначенные для соединения одного типа деталей определенного механизма.

Резьбы общего применения:

*крепежные* — метрическая, дюймовая, применяемые для разъе-млого соединения деталей машин, главное требование к которым — обеспечить прочность соединений и сохранить плотность (нераскрытие) стыка в процессе длительной эксплуатации;

*кинематические* — трапецидальная и прямоугольная, применяе-мые для ходовых винтов, винтов суппортов станков и столов измери-тельных приборов и т. п., главное требование к которым — обеспечить точное перемещение при наименьшем трении\*, и упорная — для преобразования вращательного движения в прямолинейное в прессах и домкратах, главное требование к которой — обеспечить плавность вращения и высокую нагрузочную способность;

*трубные и арматурные резьбы* — трубные цилиндрическая (СТ СЭВ 7—72)\*\* и коническая (СТ СЭВ 8—72)\*\*\*, коническая метрическая (СТ СЭВ 304—76), применяемые для трубопроводов и арматуры разнообразного назначения, главное требование к которым — обеспечить герметичность соединений.

**Параметры резьбы.** Цилиндрическая резьба определяется профи-лем, средним  $d_2$  ( $D_2$ )\*\*\*, наружным  $d$  ( $D$ ) и внутренним  $d_1$  ( $D_1$ ) диа-метрами, шагом  $P$  (и ходом  $P_n = Pn$ \*\*\*\* для многозаходной резьбы), углом профиля  $\alpha$ , высотой исходного профиля (исходного треуголь-ника)  $H$ , углами наклона сторон профиля  $\beta$  и  $\gamma$ , углом подъема резьбы  $\psi$ , а также длиной свивчивания  $l$ . Определение параметров резьбы дано в РС 4439—74.

На рис. 1 приведен профиль и параметры метрической резьбы ISO с  $\alpha = 60^\circ$ . Профиль и номинальные размеры диаметров, шага  $P$ , угла профиля  $\alpha$  и рабочей высоты профиля  $H_1$  являются общими как для наружной (болта, шпильки, винта и др.), так и внутренней резьбы (гайки, гнезда и др.).

Опыты, проведенные в СССР и за рубежом, показали что резьбовые соединения с профилем ISO отличаются повышенной прочностью по

\* Для точных микрометрических пар применяют также метрическую резьбу повышенной точности.

\*\* СТ СЭВ 7—72 и СТ СЭВ 8—72 в настоящее время пересматриваются.

\*\*\* Диаметры резьбы гайки обозначены буквой  $D$ .

\*\*\*\*  $n$  — число заходов.

сравнению с соединениями, имеющими меньшие срезы профиля резьбы. При профиле ISO также облегчается образование наружной резьбы накатыванием и внутренней резьбы нарезанием. Метрическая резьба при статических нагрузках имеет запас самоторможения.

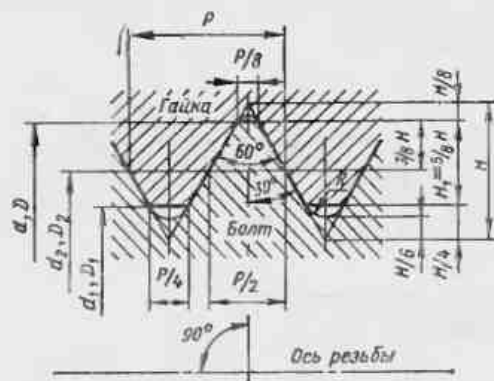


Рис. 1. Профиль и основные параметры метрической резьбы для диаметров от 1 до 600 мм

Реальный профиль впадины наружной резьбы ни в одной точке не должен выходить за линию плоского среза на расстоянии  $H/4$  от вершины исходного треугольника, а внутренней резьбы — за линию плоского среза на расстоянии  $H/8$  от вершины исходного треугольника

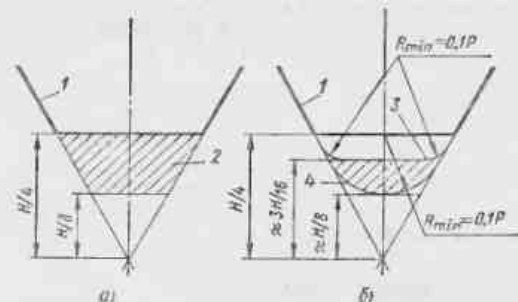


Рис. 2. Форма впадины наружной резьбы:

а — равнобедренная; б — закругленная; 1 — номинальный профиль; 2 — зона расположения реального профиля впадины; 3 и 4 — верхний и нижний предельные профили

(см. рис. 1). Форма впадины наружной резьбы не регламентируется и может выполняться как плоскосрезанной, так и закругленной. При плоскосрезанной форме впадины наружной резьбы реальный профиль впадины должен располагаться между линиями плоского среза на расстоянии  $H/4$  и  $H/8$  от вершины исходного треугольника и находиться в зоне 2 (рис. 2, а). При закругленной форме впадины резьбы,

которая является предпочтительной, радиус кривизны ни в одной точке не должен быть менее  $0,1P$  (рис. 2, б), а ее профиль должен находиться между верхним 3 и нижним 4 предельными профилями. При высоких требованиях к прочности резьбы допускается устанавливать  $R_{\min} = 0,125P$ . Форма впадины резьбы гайки не регламентируется.

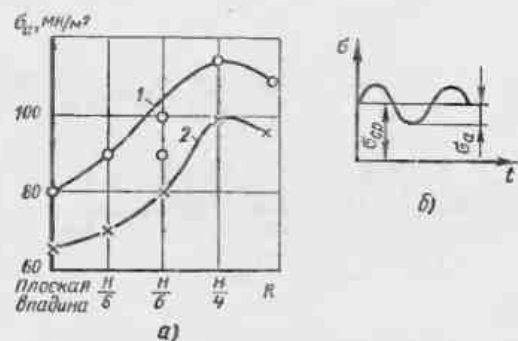


Рис. 3. Влияние радиуса  $R$  закругления впадины резьбы болтов  $M12 \times 1,5$  на циклическую прочность:

$a$  — зависимость предельной амплитуды  $\sigma_a$  цикла напряжения от  $R$ ;  $b$  — схема нагружения резьбовых соединений при испытании; 1 — на стали 40ХН2МА (среднее напряжение цикла  $\sigma_{cp} = 250$  МН/м<sup>2</sup>); 2 — из стали 45 ( $\sigma_{cp} = 150$  МН/м<sup>2</sup>)

Форма впадины наружной резьбы влияет на циклическую прочность болта. Наименьшую циклическую прочность имеют болты с плоской впадиной профиля, наибольшую (рис. 3) — с впадиной, очерченной радиусом  $R = H/4 = 0,216P$  (при закругленной впадине резьбы значительно уменьшается концентрация напряжений). Указанная зависимость циклической прочности от радиуса была подтверждена для резьбовых соединений с натягом, изготовленных из титана и жаропрочных материалов. Радиус  $R$  применяют при больших переменных нагрузках. Статическая прочность болтов с закругленной впадиной не намного выше, чем у болтов с плоским срезом впадины профиля (разница только благодаря увеличению  $d_1$  болта).

## 2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЬБ

Системы допусков и посадок, обеспечивающие взаимозаменяемость метрической, трапецидальной, упорной, трубной и других цилиндрических резьб с прямолинейными боковыми сторонами профиля, построены по одним принципам, учитывающим особенности конструкции резьбовых деталей и наличие взаимосвязи погрешностей отдельных параметров резьбы.

**Предельные контуры резьбы.** На длине свинчивания резьбовых деталей расположено несколько витков резьбы, образующих резьбовой контур. На рис. 4 жирной линией показан номинальный контур резьбы

со скользящей посадкой, определяющий наибольший предельный контур резьбы болта и наименьший — гайки. Он является контуром максимума материала на обработку. От номинального контура в направлении, перпендикулярном оси резьбы, отсчитывают отклонения и располагают в сторону оси поля допусков диаметров резьбы болта, в противоположную сторону — поля допусков диаметров резьбы гайки, определяющие наименьший предельный контур болта и наибольший — гайки.

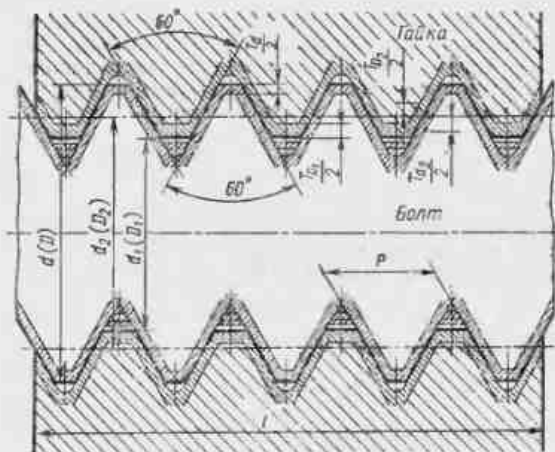


Рис. 4. Предельные контуры резьбового соединения с метрической резьбой при скользящей посадке

При изготовлении резьбовых деталей неизбежны погрешности профиля резьбы и ее размеров, возможны неконцентричность диаметральных сечений и другие отклонения, которые могут нарушить свинчиваемость и ухудшить качество соединений. Для обеспечения свинчиваемости и качества соединений действительные контуры свинчиваемых деталей, определяемые действительными значениями диаметров, угла и шага резьбы, не должны выходить за пределы контура на всей длине свинчивания. Соблюдение номинального контура наилучшим образом можно проверить проходными калибрами (они должны свинчиваться с проверяемой резьбой). Наименьший предельный контур болта ( $d_{2\min}$  и  $d_{1\min}$ ) и наибольший гайки ( $D_{2\max}$  и  $D_{1\max}$ ) контролируют непроходными резьбовыми калибрами (они не должны свинчиваться или проходить) или определяют эти диаметры с помощью универсальных измерительных средств.

**Отклонения шага и угла профиля резьбы и их диаметральная компенсация.** У всех цилиндрических резьб с прямолинейными боковыми сторонами профиля отклонения шага и угла профиля для обеспечения свинчивания могут быть скомпенсированы соответствующим изменением действительного среднего диаметра резьбы.

**Отклонением шага резьбы  $\Delta P$**  называют разность между действительным и номинальным расстоянием в осевом направлении между

двумя средними точками любых одноименных боковых сторон профиля в пределах длины свинчивания или заданной длины. Отклонение шага складывается из прогрессивных погрешностей шага, возрастающих пропорционально числу витков резьбы на длине свинчивания  $l$ , периодических, изменяющихся по периодическому закону, и местных, не зависящих от числа витков резьбы на длине свинчивания. Прогрессивные погрешности шага возникают вследствие кинематической погрешности станка и неточности шага его ходового винта, износа по всей длине резьбы этого винта, температурных и силовых деформаций винта станка и обрабатываемых деталей и т. д. Местные погрешности шага являются следствием местного износа резьбы ходовых винтов, погрешностей шага многопрофильных резьбообразующих инструментов, неоднородности материала заготовки и других причин.

Свинчивание резьбовых деталей, имеющих погрешность шага резьбы, возможно только при наличии разности  $f_p$  их средних диаметров, полученной за счет уменьшения среднего диаметра резьбы болта или увеличения среднего диаметра резьбы гайки.

Величину  $f_p$  называют диаметральной компенсацией погрешностей шага резьбы и определяют по формулам:

для метрической резьбы ( $\alpha = 60^\circ$ )

$$f_p = 1,732 \Delta P_n; \quad (1)$$

для трубной резьбы ( $\alpha = 55^\circ$ )

$$f_p = 1,921 \Delta P_n; \quad (2)$$

для трапецидальной резьбы ( $\alpha = 30^\circ$ )

$$f_p = 3,732 \Delta P_n; \quad (3)$$

для упорной резьбы ( $\beta = 30^\circ$ ;  $\gamma = 3^\circ$ )

$$f_p = 3,175 \Delta P_n; \quad (4)$$

где  $\Delta P_n$  и  $f_p$  — в мм.

Диаметральную компенсацию погрешностей шага необходимо определять исходя из абсолютной величины наибольшего отклонения  $\Delta P_n$  (накопленной или местной погрешности шага), которая может быть как положительной, так и отрицательной. При анализе погрешностей угла профиля резьбы обычно измеряют не угол  $\alpha$ , а половину угла профиля  $\alpha/2$ , которая для метрической резьбы равна  $30^\circ$ . Изменяя  $\alpha/2$ , можно установить не только величину  $\alpha$ , но и перекос резьбы.

Отклонением половины угла профиля резьбы  $\Delta \frac{\alpha}{2}$  болта или гайки

(для резьб с симметричным профилем) называют разность между действительным и номинальным значениями  $\alpha/2$ . Эта погрешность может быть вызвана погрешностью полного угла профиля (при равенстве половины угла), перекосом профиля относительно оси детали (когда биссектриса угла симметричного профиля не перпендикулярна оси резьбы) и сочетанием обоих факторов. Погрешность половины угла профиля может явиться следствием ошибок профиля резьбообразующего инструмента и неточности установки его, перекоса оси детали и т. п.

Величину  $\Delta \frac{\alpha}{2}$  при симметричном профиле резьбы находят как среднее арифметическое из абсолютных величин отклонений обеих половин угла профиля:

$$\Delta \frac{\alpha}{2} = \frac{\left| \Delta \left( \frac{\alpha}{2} \right)_{пр} \right| + \left| \Delta \left( \frac{\alpha}{2} \right)_{лев} \right|}{2}. \quad (5)$$

При равенстве диаметров резьбы болта и гайки эти детали не будут свинчиваться вследствие перекрытия профиля резьбы. Свинчивание резьбовых деталей, имеющих погрешность  $\Delta \frac{\alpha}{2}$ , как и имеющих погрешность шага, возможно только при наличии необходимого зазора по средним диаметрам их резьбы, т. е. диаметральной компенсации  $f_\alpha$  этой погрешности, которая может быть осуществлена за счет уменьшения среднего диаметра резьбы болта или увеличения среднего диаметра гайки.

Величину  $f_\alpha$  определяют по формулам: для метрической резьбы

$$f_\alpha \approx 0,36P \Delta \frac{\alpha}{2}; \quad (6)$$

для трубной резьбы

$$f_\alpha \approx 0,35P \Delta \frac{\alpha}{2}; \quad (7)$$

для трапецидальной резьбы

$$f_\alpha \approx 0,582P \Delta \frac{\alpha}{2}; \quad (8)$$

для упорной резьбы с углами профиля  $\beta = 30^\circ$  и  $\gamma = 3^\circ$

$$f_\alpha = 0,46P (\Delta\beta + 0,75 \Delta\gamma), \quad (9)$$

где  $f_\alpha$  — в мм;  $P$  — в мм и  $\Delta \frac{\alpha}{2}$  — в угловых минутах, определяемая по формуле (5);  $\Delta\beta$  и  $\Delta\gamma$  — абсолютная величина отклонений углов наклона сторон профиля в минутах.

Зависимости (1)–(4) и (6)–(9) дают возможность привести отклонения  $\Delta P$  и  $\Delta \frac{\alpha}{2}$  к одному (диаметральному) направлению и к одной размерности (мм).

Приведенный средний диаметр резьбы. Свинчиваемость будет обеспечена только в том случае, если разность средних диаметров резьб болта и гайки не меньше сумм диаметральных компенсаций шага и половины угла профиля обеих деталей. Для упрощения контроля резьбы и расчета допусков введено понятие приведенного среднего диаметра резьбы, учитывающего влияние на свинчиваемость величин  $d_2(D_2)$ ,  $f_p$  и  $f_\alpha$ . Значение среднего диаметра резьбы, увеличенное для

наружной резьбы или уменьшенное для внутренней резьбы на суммарную диаметральную компенсацию отклонений шага и угла наклона боковой стороны профиля, называют приведенным средним диаметром.

Приведенный средний диаметр \* определяют по формулам:

$$d_{\text{пр}} = d_{\text{нзм}} + f_P + f_{\alpha}; \quad (10)$$

для внутренней резьбы

$$D_{\text{пр}} = D_{\text{нзм}} - (f_P + f_{\alpha}). \quad (11)$$

При точном определении значения приведенного диаметра необходимо учитывать отклонения формы боковых поверхностей и другие погрешности резьбы.

Пример. Определить приведенный средний диаметр для резьбы болта М24 ( $P = 3$  мм), у которой измеренный (действительный) размер  $d_2 = 21,900$  мм;

$$\Delta P_n = -40 \text{ мкм}; \quad \Delta \left(\frac{\alpha}{2}\right)_{\text{пр}} = -30'; \quad \Delta \left(\frac{\alpha}{2}\right)_{\text{лев}} = -70'.$$

Отклонение половины угла профиля по формуле (5)

$$\Delta \left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{30+70}{2} = 50'.$$

Приведенный средний диаметр по формуле (10)

$$\begin{aligned} d_{\text{пр}} &= d_2 + f_P + f_{\alpha} = 21,9 + 1,732 \Delta P_n + 0,36P \Delta \left(\frac{\alpha}{2}\right) \\ &= 21,9 + \frac{1,732 \cdot 40}{1000} + \frac{0,36 \cdot 3 \cdot 50}{1000} = 22,023 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Для свинчивания болта с гайкой необходима диаметральная компенсация как положительных, так и отрицательных погрешностей шага и половины угла профиля болта и гайки. Поэтому в формулу (10)  $f_P$  и  $f_{\alpha}$  всегда входят со знаком «плюс», а в формулу (11) — со знаком «минус».

При наличии погрешностей шага и половины угла профиля резьбы у обеих деталей получаемый в соединении зазор определяется с учетом как величин, так и знака этих отклонений.

Пример. Определить зазор в резьбовом соединении М24. У резьбы гайки  $D_2 = 22,200$  мм;  $\Delta P_n = +50$  мкм;  $\Delta \left(\frac{\alpha}{2}\right)_{\text{пр}} = +70'$ ;  $\Delta \left(\frac{\alpha}{2}\right)_{\text{лев}} = -30'$ ;

у резьбы болта  $d_2 = 21,900$  мм;  $\Delta P_n = +40$  мкм (в пределах длины свинчивания);  $\Delta \left(\frac{\alpha}{2}\right)_{\text{пр}} = -30'$ ;  $\Delta \left(\frac{\alpha}{2}\right)_{\text{лев}} = +70'$ .

Разность собственно средних диаметров

$$D_2 - d_2 = 22,2 - 21,9 = 0,3 = 300 \text{ мкм.}$$

Разность шагов в соединении

$$\Delta P_n \text{ соед} = 50 - 40 = 10 \text{ мкм.}$$

Разность половины угла профиля в соединении

$$\Delta \left(\frac{\alpha}{2}\right)_{\text{пр. соед}} = 70 - (-30) = 100'; \quad \Delta \left(\frac{\alpha}{2}\right)_{\text{лев. соед}} = -30 - (+70) = -100';$$

$$\begin{aligned} \Delta \left(\frac{\alpha}{2}\right)_{\text{соед}} &= \frac{\left| \Delta \left(\frac{\alpha}{2}\right)_{\text{пр. соед}} \right| + \left| \Delta \left(\frac{\alpha}{2}\right)_{\text{лев. соед}} \right|}{2} \\ &= \frac{100' + 100'}{2} = 100'. \end{aligned}$$

Зазор в соединении

$$\begin{aligned} S &= 300 - 1,732 \Delta P_{\text{соед}} - 0,36P \Delta \left(\frac{\alpha}{2}\right)_{\text{соед}} \\ &= 300 - 1,732 \cdot 10 - 0,36 \cdot 3 \cdot 100 \approx 175 \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Аналогично определяется и натяг в резьбовом соединении.

Суммарный допуск среднего диаметра резьбы. Средний диаметр, шаг и угол профиля являются основными параметрами резьбы, так как они определяют характер контакта размещения и другие эксплуатационные качества. Однако вследствие взаимосвязи между отклонениями шага, угла профиля и собственно среднего диаметра допустимые отклонения этих параметров раздельно не нормируют (за исключением резьб калибров и инструмента). Устанавливают только суммарный допуск на средний диаметр болта  $T_{d_2}$  и гайки  $T_{D_2}$ , который включает допустимое отклонение собственно среднего диаметра  $\Delta d_2$  ( $\Delta D_2$ ) и диаметральные компенсации погрешности шага и угла профиля:

$$T_{d_2} (T_{D_2}) = \Delta d_2 (\Delta D_2) + f_P + f_{\alpha}.$$

Верхний предел суммарного допуска среднего диаметра наружной резьбы ограничивает величину приведенного среднего диаметра  $d_{2 \text{ пр. max}}$ , а нижний предел — величину собственно среднего диаметра  $d_{2 \text{ min}}$ . Для внутренней резьбы — это допуск, нижний предел которого ограничивает величину приведенного среднего диаметра  $D_{2 \text{ пр. min}}$ , а верхний предел — величину собственно среднего диаметра  $D_{2 \text{ max}}$ . Поэтому величину допуска  $T_{d_2}$  и  $T_{D_2}$  следует определять соответственно как допустимую разность между  $d_{2 \text{ пр. max}}$  и  $d_{2 \text{ min}}$  болта и между  $D_{2 \text{ пр. max}}$  и  $D_{2 \text{ пр. min}}$  гайки.

Разность  $T_{d_2}$  ( $T_{D_2}$ ) —  $(f_P + f_{\alpha})$  представляет ту часть суммарного допуска среднего диаметра, которая может быть использована как допуск собственно среднего диаметра при наличии отклонений шага и угла профиля.

При раздельной проверке шага, угла профиля и среднего диаметра действительные отклонения среднего диаметра болта и гайки должны быть по абсолютной величине не менее требующихся для компенсаций отклонений шага и угла профиля и иметь соответствующие знаки. Удельный вес отдельных составляющих  $\Delta d_2$  ( $\Delta D_2$ ),  $f_P$  и  $f_{\alpha}$  не является постоянным, он зависит от типа и размера резьбы и технологии ее изготовления.

\* В дальнейшем в обозначениях  $d_{2 \text{ нзм}}$  и  $D_{2 \text{ нзм}}$  индекс «нзм» опущен.

## 3. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ МЕТРИЧЕСКИХ РЕЗЬБ

Внутренние и наружные резьбы общего назначения, а также большинство специальных резьб соединяются по боковым сторонам профиля. Возможность контакта по вершинам и впадинам резьбы исключается соответствующим расположением полей допусков по  $d$  ( $D$ ) и  $d_1$  ( $D_1$ ). В зависимости от характера сопряжения по боковым сторонам профиля (т. е. по среднему диаметру) различают резьбы со скользящей посадкой, с зазором, натягом и с переходными посадками.

Однако действительный характер взаимного контакта боковых сторон профиля резьбы на длине свинчивания, т. е. посадку, опреде-

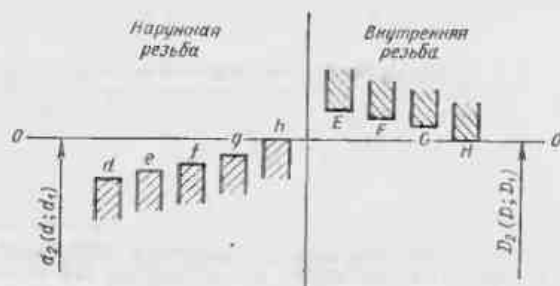


Рис. 5. Схемы полей допусков для метрической резьбы с зазором

ляют не только действительные значения средних диаметров, но и отклонения шага и половины угла профиля резьбы соединяемых деталей. Поэтому характер посадки резьбового соединения зависит от величины зазора или натяга, которые численно представляют собой разницу действительных значений приведенных средних диаметров резьбы болта или гайки.

Допуски и посадки метрической резьбы регламентированы СТ СЭВ 640—77, предусматривающим допуски посадок скольжения и с зазором. Схемы полей допусков наружной и внутренней резьбы приведены на рис. 5.

Допуски диаметров резьбы. Они устанавливаются степенями точности, обозначаемыми цифрами.

Диаметр наружной резьбы:	Степень точности
наружный $d$	4; 6; 8
средний $d_1$	3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10*
Диаметр внутренней резьбы:	
внутренний $D_1$	4; 5; 6; 7; 8
средний $D_2$	4; 5; 6; 7; 8; 9*

Допуски внутреннего диаметра  $d_1$  наружной резьбы и наружного диаметра  $D$  внутренней резьбы не устанавливаются. Нижнее отклонение  $d_1$  косвенно ограничивается формой впадины резьбы болта. Верхнее отклонение  $D$  не устанавливается.

\* Только для резьб на деталях из пластмасс.

Основное отклонение. Положение поля допуска диаметра резьбы определяется основным отклонением (верхним  $es$  для наружной резьбы и нижним  $EI$  для внутренней). Для получения посадок резьбовых деталей с зазором предусмотрены пять основных отклонений для наружной и четыре — для внутренней резьбы (см. рис. 5). Эти отклонения одинаковы для  $d$ ;  $d_2$  и  $D_1$ ;  $D_2$ . Отклонения отсчитывают от номинального профиля резьбы (рис. 6) в направлении, перпендикулярном оси резьбы. Числовые значения основных отклонений приведены в табл. 1. Основные отклонения  $E$  и  $F$  установлены только для специального применения при значительных толщинах слоя защитного покрытия. Величины основных отклонений  $h$  и  $H$  равны нулю.

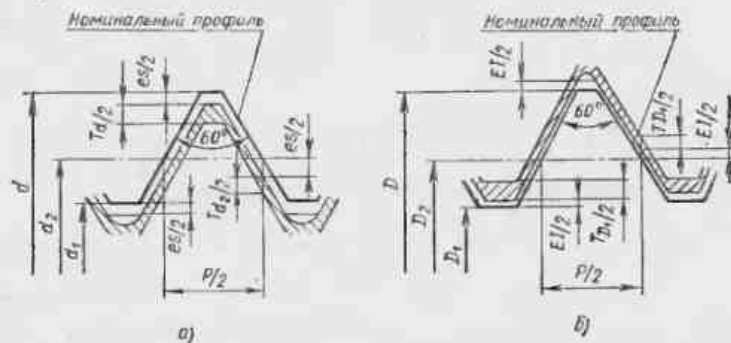


Рис. 6. Расположение полей допусков резьбы при посадке с зазором: а — наружной; б — внутренней

Поле допуска диаметра резьбы. Оно образуется сочетанием допуска и основного отклонения.

Поле допуска резьбы. Оно образуется сочетанием поля допуска среднего диаметра с полем допуска диаметра выступов (наружного диаметра для наружной резьбы и внутреннего диаметра для внутренней резьбы). Поля допусков резьбы, установленные в классах точности — точный, средний и грубый, приведены в табл. 2. Поля допусков, заключенные в рамки, следует применять предпочтительно. Применение полей допусков, заключенных в скобки, следует по возможности ограничить. При длинах свинчивания  $S$  и  $L$  допускается применять поля допусков, установленные для длин свинчивания  $N$ .

Посадки. Посадки могут быть образованы сочетанием любых полей допусков наружной и внутренней резьбы, указанных в табл. 2. Предпочтительно следует сочетать поля допусков одного класса точности.

При сочетании основных отклонений  $H/h$  образуется посадка с наименьшим зазором, равным нулю (рис. 7); при сочетании  $H$  с  $g$ ,  $f$ ,  $e$ ,  $d$ , а также  $G$ ,  $E$ ,  $F$  с  $h$ ,  $g$ ,  $f$ ,  $e$ ,  $d$  образуются посадки с гарантированным зазором. Наиболее распространенной резьбой является резьба с небольшим зазором ( $6H/6g$ ) (табл. 2).

Посадки с большим гарантированным зазором применяют в следующих случаях: когда резьбовые детали работают при высокой температуре (с целью компенсации температурных деформаций), предохранения соединений от заедания путем введения в зазор смазки и обес-



## 1. Основные отклонения диаметров наружной и внутренней резьбы

Шаг $P$ , мм	Наружная резьба					Внутренняя резьба			
	Диаметр резьбы								
	$d; d_2$					$D_1; D_2$			
	Основное отклонение, мкм								
	$es$					$EI$			
	$d$	$e$	$f$	$g$	$h$	$E$	$F$	$G$	$H$
0,2	—	—	-32	-17	0	—	+32	+17	0
0,25	—	—	-33	-18	0	—	+33	+18	0
0,3	—	—	-33	-18	0	—	+33	+18	0
0,35	—	—	-34	-19	0	—	+34	+19	0
0,4	—	—	-34	-19	0	—	+34	+19	0
0,45	—	—	-35	-20	0	—	+35	+20	0
0,5	—	-50	-36	-20	0	+50	+36	+20	0
0,6	—	-53	-36	-21	0	+53	+36	+21	0
0,7	—	-56	-38	-22	0	+56	+38	+22	0
0,75	—	-56	-38	-22	0	+56	+38	+22	0
0,8	—	-60	-38	-24	0	+60	+38	+24	0
1	-90	-60	-40	-26	0	+60	+40	+26	0
1,25	-95	-63	-42	-28	0	+63	+42	+28	0
1,5	-95	-67	-45	-32	0	+67	+45	+32	0
1,75	-100	-71	-48	-34	0	+71	+48	+34	0
2	-100	-71	-52	-38	0	+71	+52	+38	0
2,5	-106	-80	-58	-42	0	+80	—	+42	0
3	-112	-85	-63	-48	0	+85	—	+48	0
3,5	-118	-90	—	-53	0	+90	—	+53	0
4	-125	-95	—	-60	0	+95	—	+60	0
4,5	-132	-100	—	-63	0	+100	—	+63	0
5	-132	-106	—	-71	0	+106	—	+71	0
5,5	-140	-112	—	-75	0	+112	—	+75	0
6	-150	-118	—	-80	0	+118	—	+80	0

лечения возможности разборки деталей без повреждения); когда необходима быстрая и легкая свинчиваемость деталей даже при наличии небольшого загрязнения или повреждения резьбы; когда на резьбовые детали наносятся антикоррозионные покрытия значительной толщины.

Длины свинчивания. Для выбора степени точности в зависимости от длины свинчивания резьбы и требований к точности соединений установлены три группы для свинчивания:  $S$  — короткие,  $N$  — нормальные и  $L$  — длинные. К нормальной ( $N$ ) длине свинчивания относят длины свыше  $2,24 Pd^{0,2}$  до  $6,7Pd^{0,2}$ . Длины свинчивания меньше нормальных относят к группе  $S$ , а больше — к группе  $L$  ( $d$  и  $P$  — в мм).

Классы точности резьбы. В соответствии со сложившейся во многих странах практикой поля допусков сгруппированы в трех классах точности — точном, среднем и грубом.

## 2. Поля допусков метрической резьбы

Класс точности	Длина свинчивания					
	$S$		$N$		$L$	
Поле допуска наружной резьбы						
Точный	(3h4h)		$g$	$4h$	(5h4h)	
Средний	$5g6g$	(5h6h)	$6d$	$6e$	$6f$	$6h$ (7e6e) 7g6g (7h6h)
Грубый			$8g$	(8h) *	(9g8g)	
Поле допуска внутренней резьбы						
Точный	$4H$		$4H/5H$	$5H$	$6H$	
Средний	(5G)	$5H$	$6G$	$6H$	(7G)	$7H$
Грубый			$7G$	$7H$	(8G)	$8H$

\* Только для резьбы с шагом  $P > 0,8$  мм. Для резьбы с шагом  $P \leq 0,8$  мм применяют поле допуска  $8h/6h$ .

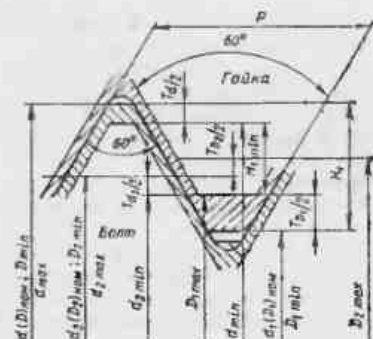


Рис. 7. Расположение полей допусков метрической резьбы при посадке с наименьшим зазором, равным нулю

Понятие о классах точности условное (на чертежах указывают не классы, а поля допусков), оно используется для сравнительной оценки точности резьбы. Точный класс рекомендуется для ответственных статически нагруженных резьбовых соединений, а также когда требуются малые колебания характера посадки; средний класс — для резьб общего применения и грубый — при нарезании резьб на горячекатаных заготовках, в длинных глухих отверстиях и т. п. Наибольшее применение получил средний класс точности, при котором обеспечивается достаточная статическая и высокая циклическая прочность резьбовых соединений.

При одном и том же классе точности допуск среднего диаметра при длине свинчивания  $L$  рекомендуется увеличивать, а при длине  $S$  — уменьшать на одну степень по сравнению с допусками, установленными для нормальной длины свинчивания  $N$ . Например, для длины  $S$  следует брать 5-ю степень, для  $N$  — 6-ю, а для  $L$  — 7-ю. Такая система позволяет выбирать точность резьбы в зависимости от конструктивных и технологических требований. Допуск резьбы, если нет особых оговорок, относится к наибольшей нормальной длине свинчивания или ко всей длине резьбы, если она меньше наибольшей нормальной длины свинчивания. Если длина свинчивания относится к  $L$  или к  $S$  (но меньше, чем вся длина резьбы), то это оговаривают в обозначении резьбы или в технических требованиях.

Допуски резьбы. Допуск среднего диаметра резьбы является суммарным. Основным рядом допусков для всех диаметров, в соответствии с рекомендацией ISO, принят ряд по 6-й степени точности. Допуски диаметров резьбы для 6-й степени точности при нормальной длине свинчивания определены по формулам:

$$\text{для } d_2 \ T_{d_2} (6) = 90P^{0,4}d^{0,1}, \quad (12)$$

$$\text{для } d \ T_d (6) = 180\sqrt[3]{P^2} - \frac{3,15}{\sqrt{P}}; \quad (13)$$

$$\text{для } D_2 \ T_{D_2} (6) = 1,32T_{d_2} (6); \quad (14)$$

$$\text{для } D_1 \ T_{D_1} (6) = 433 - 190P^{1,22} \ (\text{при } P < 0,8 \text{ мм}); \quad (15)$$

$$T_{D_1} (6) = 230 \cdot P^{0,7} \ (\text{при } P > 1 \text{ мм}). \quad (16)$$

где  $P$  — в мм;  $d$  — среднее геометрическое крайних значений интервалов номинальных диаметров;  $T$  — в мкм.

Допуски остальных степеней точности определяются умножением допуска 6-й степени точности, найденного соответственно по формулам (12)–(16), на следующие коэффициенты:

Степень точности	3	4	5	7	8	9	10
Коэффициент	0,5	0,63	0,8	1,25	1,6	2	2,5

Из формулы (14) следует, что допуск  $T_{D_2}$  на  $1/3$  больше допуска  $T_{d_2}$  при одной и той же степени точности резьбы, что является обоснованным. В отечественной системе, действовавшей до введения новой системы, допуски средних диаметров резьбы болта и гайки одинаковы.

Числовые значения допусков  $T_d$  и  $T_{D_2}$  приведены в табл. 3. Как следует из формул (13), (15) и (16) и табл. 3, допуски  $T_d$  и  $T_{D_2}$  зависят только от шага резьбы  $P$ . Числовые значения допусков  $T_{d_2}$  и  $T_{D_2}$  приведены в табл. 4. Пользуясь данными указанных таблиц, можно легко определить предельные отклонения резьбы для требуемых полей допусков. Например, для поля  $6d$  резьбы  $M10 \times 1,5$  по табл. 1  $es = -95$  мкм, по табл. 3  $T_d (6) = 236$  мкм, т. е.  $ei = -331$  мкм, что соответствует данным, приведенным в СТ СЭВ 640–77. Аналогично, пользуясь табл. 1 и 4, найдем  $es = -95$  мкм,  $T_{d_2} = 132$  мкм, т. е.  $ei = -227$  мкм.

Верхнее отклонение внутреннего диаметра резьбы болта контролируют проходным резьбовым калибром-кольцом с плоским срезом профиля резьбы на расстоянии  $H/4$  от вершины остроугольного профиля. Нижнее отклонение внутреннего диаметра болта не устанавливается, но косвенно ограничивается формой впадины резьбы болта (см. рис. 6 и 7).

Нижнее отклонение наружного диаметра резьбы гайки контролируют проходным резьбовым калибром — пробкой с плоским срезом

3. Допуски наружного диаметра наружной резьбы и внутреннего диаметра внутренней резьбы

Шаг $P$ , мм	Наружная резьба			Внутренняя резьба		
	Степень точности					
	4	6	8	4	5	6
	Допуск, мкм					
	$T_d$			$T_{D_2}$		
0,2	36	56	—	38	48	60
0,25	42	67	—	45	56	71
0,3	48	75	—	53	67	85
0,35	53	85	—	63	80	100
0,4	60	95	—	71	90	112
0,45	63	100	—	80	100	125
0,5	67	106	—	90	112	140
0,6	80	125	—	100	125	160
0,7	90	140	—	112	140	180
0,75	90	140	—	118	150	190
0,8	95	150	236	125	160	200
1	112	180	280	150	190	236
1,25	132	212	335	170	212	265
1,5	150	236	375	190	236	300
1,75	170	265	425	212	265	335
2	180	280	450	236	300	375
2,5	212	335	530	280	355	450
3	236	375	600	315	400	500

## 4. Допуски среднего диаметра наружной и внутренней резьбы

Номинальный диаметр резьбы $d$ , мм	Шаг $P$ , мм	Наружная резьба						Внутренняя резьба		
		Степень точности								
		3	4	5	6	7	8	4	5	6
Допуск $T_{d_2}$ , мкм						Допуск $T_{D_2}$ , мкм				
От 1 до 1,4	0,2	24	30	38	48	(60)	(75)	40	50	63
	0,25	26	34	42	53	(67)	(85)	45	56	71
	0,3	28	36	45	56	(71)	(90)	48	60	75
Св. 1,4 до 2,8	0,2	25	32	40	50	(63)	(80)	42	53	67
	0,25	28	36	45	56	(71)	(90)	48	60	75
	0,35	32	40	50	63	80	(100)	53	67	85
	0,4	34	42	53	67	85	(106)	56	71	90
	0,45	36	45	56	71	90	(112)	60	75	95
Св. 2,8 до 5,6	0,25	28	36	45	56	(71)	—	48	60	75
	0,35	34	42	53	67	85	(106)	56	71	90
	0,5	38	48	60	75	95	(118)	63	80	100
	0,6	42	53	67	85	106	(132)	71	90	112
	0,7	45	56	71	90	112	(140)	75	95	118
	0,75	45	56	71	90	112	(140)	75	95	118
	0,8	48	60	75	95	118	150	80	100	125
Св. 5,6 до 11,2	0,25	32	40	50	63	(80)	—	53	67	85
	0,35	36	45	56	71	90	—	60	75	95
	0,5	42	53	67	85	106	(132)	71	90	112
	0,75	50	63	80	100	125	(166)	85	106	132
	1	56	71	90	112	140	180	95	118	150
	1,25	60	75	95	118	150	190	100	125	160
	1,5	67	85	106	132	170	212	112	140	180
Св. 11,2 до 22,4	0,35	38	48	60	75	95	—	63	80	100
	0,5	45	56	71	90	112	(140)	75	95	118
	0,75	53	67	85	106	132	(170)	90	112	140
	1	60	75	95	118	150	190	100	125	160
	1,25	67	85	106	132	170	212	112	140	180
	1,5	71	90	112	140	180	224	118	150	190
	1,75	75	95	118	150	190	236	125	160	200
	2	80	100	125	160	200	250	132	170	212
	2,5	85	106	132	170	212	265	140	180	224
Св. 22,4 до 45	0,5	48	60	75	95	118	—	80	100	125
	0,75	56	71	90	112	140	(180)	95	118	150
	1	63	80	100	125	160	200	106	132	170
	1,5	75	95	118	150	190	236	125	160	200
	2	85	106	132	170	212	265	140	180	224
	3	100	125	160	200	250	315	170	212	265
	3,5	106	132	170	212	265	335	180	224	280
	4	112	140	180	224	280	355	190	236	300
	4,5	118	150	190	236	300	375	200	250	315
Св. 45 до 90	0,5	50	63	80	100	125	—	85	106	132
	0,75	60	75	95	118	150	—	100	125	160
	1	71	90	112	140	180	224	118	150	190
	1,5	80	100	125	160	200	250	132	170	212
	2	90	112	140	180	224	280	150	190	236
	3	106	132	170	212	265	335	180	224	280

Примечание. Значения, указанные в скобках, по возможности не применять.

профиля резьбы на расстоянии  $H/8$  от вершины остроугольного профиля. Верхнее отклонение наружного диаметра гайки не устанавливается.

Предельные отклонения резьб, на которые в последующем наносит защитные покрытия, должны соответствовать СТ СЭВ 640—77, если применяемые толщины покрытий не требуют больших величин основных отклонений. Если заданы предельные отклонения размеров резьб до нанесения покрытий и не сделано других оговорок, то размеры резьбы после нанесения покрытий не должны выходить за пределы, определяемые номинальным профилем резьбы и основными отклонениями  $h$ ,  $H$ .

Обозначение точности и посадок метрической резьбы. Обозначение поля допуска диаметра резьбы состоит из цифры, показывающей степень точности, и буквы, обозначающей основное отклонение (например, 6h, 6g, 6H).

Обозначение поля допуска резьбы состоит из обозначения поля допуска среднего диаметра, помещаемого на первом месте, и обозначения поля допуска диаметра выступов (наружного диаметра для болтов и внутреннего — для гаек) (например, 7g6g, 5H/6H). Если обозначение поля допуска диаметра выступов совпадает с обозначением поля допуска среднего диаметра, то оно в обозначении поля допуска резьбы не повторяется (например, 6g, 6H). Обозначение поля допуска резьбы следует за обозначением размера резьбы.

Примеры обозначения резьбы: 1) с крупным шагом: наружной резьбы  $M12-6g$ ; внутренней резьбы  $M12-6H$ ; 2) с мелким шагом: наружной резьбы  $M12 \times 1-6g$ ; внутренней резьбы  $M12 \times 1-6H$ ; 3) левой резьбы: наружной  $M12 \times 1LH-6g$ ; внутренней  $M12 \times 1LH-6H$ . Посадки резьбовых деталей обозначают дробью, в числителе которой указывают поле допуска гайки, а в знаменателе — поле допуска болта (например,  $M12-6H/6g$ ,  $M12 \times 1-6H/6g$ ,  $M12 \times 1LH-6H/6g$ ). Если длина свинчивания отличается от нормальной, то она указывается в обозначении:  $M12-7g6g-30$ , где 30 — длина свинчивания, мм.

Система допусков резьб технологична: в ней расширены допуски среднего диаметра гаек в точном и среднем классах, а также расширены допуски  $T_{D_2}$  гаек и  $T_d$  болтов. Дополнительное повышение технологичности резьб вытекает из возможности в обоснованных случаях допуски по среднему диаметру и диаметру выступов назначать по разным степеням точности.

Посадки с натягом. Посадки с натягом по среднему диаметру используют в тех случаях, когда конструкция узла не допускает применения резьбового соединения типа болт—гайка из-за возможного нарушения герметичности и самоотвинчивания шпильки под действием вибраций, переменных нагрузок и изменения рабочей температуры. Примером может являться посадка резьбы шпильки в корпус двигателя. Шпильку следует заворачивать в корпус настолько туго, чтобы исключить ее проворачивание при затяжке в процессе сборки и эксплуатации или при отвинчивании гайки (соединенной по скользящей посадке с другим концом шпильки) для ремонта и осмотра механизма.

Посадки с натягом регламентированы СТ СЭВ 306—76, который распространяется на метрические резьбы диаметрами от 5 до 45 мм и шагами от 0,8 до 3 мм.

Расположение полей допусков диаметров резьбы с натягом показано на рис. 8. За номинальный профиль и номинальные размеры тугой резьбы приняты профиль и основные размеры метрической резьбы (на рис. 8 номинальный профиль показан утолщенной линией). Форму впадины резьбы шпильки необходимо делать закругленной. Номинальный радиус  $R = 0,144P$ ,  $R_{\text{min}} = 0,1P$ . Для резьбы с шагом  $P \leq 1$  мм

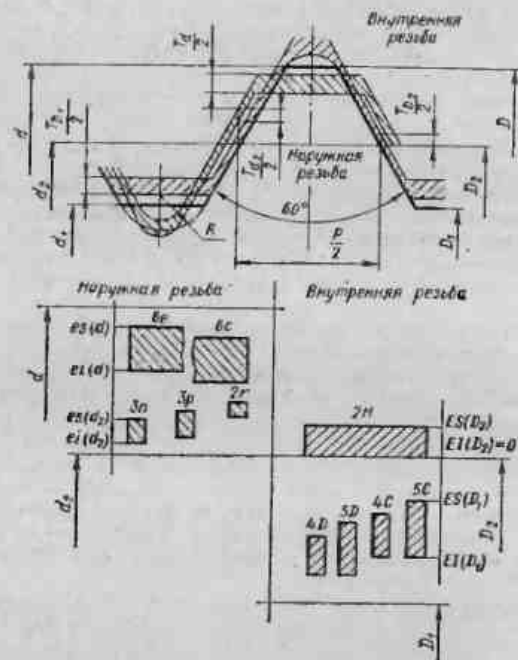


Рис. 8. Расположение полей допусков резьбы с натягом;

$e_8$  — верхнее отклонение диаметров наружной резьбы;  $ES$  — верхнее отклонение диаметров внутренней резьбы;  $e_7$  — нижнее отклонение диаметров наружной резьбы;  $EI$  — нижнее отклонение диаметров внутренней резьбы

допускается плоскосрезанная форма впадины. Как указывалось выше, для резьб с натягом циклическая прочность резьбовых соединений возрастает при  $R = \frac{H}{4}$  (см. рис. 3).

Посадки с натягом предусмотрены только в системе отверстия, имеющей большие технологические преимущества перед системой вала.

Допуск среднего диаметра резьбы деталей, сортируемых на группы, является не суммарным, как это предусмотрено для метрических резьб с зазором и со скользящей посадкой, а допуском на собственно средний диаметр резьбы гнезда или шпильки. Это объясняется тем, что крутящий момент при затяжке соединения в большей степени зависит от

натяга по собственно средним диаметрам, чем по приведенным средним диаметрам резьбы. Поэтому указанные в стандарте предельные отклонения собственно средних диаметров резьбы гнезда и шпильки используются при их сортировке на группы для селективной сборки. Допуски среднего диаметра резьбы деталей, не сортируемых на группы, являются суммарными. Допуски внутреннего диаметра наружной резьбы не устанавливаются. Он ограничивается предельными отклонениями формы впадины резьбы. Верхнее отклонение наружного диаметра внутренней резьбы также не регламентируется. Установленные поля допусков и посадки приведены в СТ СЭВ 306—76. Например, для чугуна и алюминиевых сплавов при шаге до 1,25 мм посадка 2H5D/2r, при шаге свыше 1,25 мм посадка 2H5C/2r. Для стали и титановых сплавов: при шаге до 1,25 мм посадка 2H4D (3)/3n (3), при шаге свыше 1,25 мм посадка 2H4C(3) 3n(3). В скобках указано число групп сортировки. Длины свинчивания резьбовых соединений при посадках с натягом должны быть в пределах: от  $1d$  до  $1,25d$  — когда материалом детали с внутренней резьбой является сталь; от  $1,25d$  до  $1,5d$  — когда материалом является чугун и от  $1,5d$  до  $2d$  — когда материалом являются алюминиевые и магниевые сплавы. При других длинах свинчивания или других материалах требуется дополнительная проверка посадок.

При посадках с гарантированным натягом требуется установление весьма малых величин допусков по среднему диаметру. При больших допусках сочетание размеров, создающее наименьший натяг, не гарантировано бы от проворачивания шпильки, а при наибольшем натяге могли бы разрушиться шпильки или срезаться резьбы гнезд. Поэтому для резьб с натягом допуски на собственно средний диаметр резьбы установлены: для гнезд — по 2-й, для шпильки — по 3-й и 2-й степеням точности.

Допуск резьбы гнезда на 33% больше допуска шпильки.

Для обеспечения более однородного натяга с целью повышения прочности соединений резьбовые детали сортируют на группы, а затем собирают из одноименных групп.

Наибольшая циклическая прочность соединений создается не при наибольшем, а при оптимальном натяге, величина которого зависит от материала соединяемых деталей и рабочей температуры.

Для устранения заклинивания при свинчивании тугой резьбы по наружному и внутреннему диаметрам предусмотрены гарантированные зазоры. Они учитывают, что после свинчивания резьбовой пары вследствие остаточной пластической деформации витков наружный диаметр резьбы шпильки увеличивается, а внутренний диаметр резьбы гнезда (если оно в корпусе из пластического металла) уменьшается пропорционально увеличению натяга. Вследствие этого действительные зазоры по наружному и внутреннему диаметрам значительно меньше нормированных. Для повышения циклической прочности шпильки необходимо, чтобы по внутреннему диаметру резьбы был обеспечен зазор и после свинчивания деталей. По наружному диаметру зазор после свинчивания деталей может быть равен нулю.

Для резьб с натягом установлены допускаемые отклонения половины угла профиля и шага резьбы шпильки и гнезд на длине свинчивания. Отклонения половины угла профиля и шага резьбы контролируют только у шпильки, для гнезд они обеспечиваются при изготовлении за счет соответствующей точности резьбообразующего инструмента.

Опытами установлено, что погрешности шага и угла профиля резьбы, близкие к максимально допустимым, снижают крутящий момент затяжки на 10—25%, причем погрешность шага влияет в большей степени, чем погрешность угла профиля. Поэтому необходимо стремиться к изготовлению резьбы с натягом с минимальными погрешностями половины угла профиля и особенно шага резьбы.

На качество резьбовых соединений с натягом влияют также отклонения формы резьбовых деталей. Поэтому стандарт устанавливает, что отклонение формы наружной и внутренней резьбы, определяемое разностью между наибольшим и наименьшим действительными средними диаметрами, не должно превышать 25% от допуска среднего диаметра. Обратная конусообразность (т. е. увеличение диаметра от торца шпильки к середине ее длины) не допускается. Точность формы резьбы гнезд обеспечивается технологически и непосредственному контролю не подлежит.

Допускается применение посадок ЗН6Н/3р и ЗН6Н/3н без сортировки на группы. Указанные посадки относятся к переходным, и при их применении требуется дополнительная проверка.

Пример обозначения резьбы с натягом: М12—2Н5С(2)/3р(2) (поле допуска наружного диаметра наружной резьбы в обозначении не указывается).

**Переходные посадки.** Их применяют при одновременном дополнительном заклинивании шпилек, например, по сбегу резьбы (см. СТ СЭВ 305—76).

#### 4. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ КИНЕМАТИЧЕСКИХ РЕЗЬБ

Кинематические резьбы, применяемые для винтовых пар, имеют гарантированные зазоры по сопрягаемым поверхностям. Зазоры необходимы для размещения смазки и уменьшения трения, компенсации температурных деформаций и создания однопрофильного контакта по боковым сторонам профиля резьбы. Основным показателем точности винтовых пар является разность действительного и теоретического перемещений одной из деталей пары в осевом направлении.

В отличие от крепежных резьб, где необходимо большое сопротивление самоотвинчиванию, для кинематических резьб важно иметь малое трение. При прочих равных условиях (шероховатость поверхности, род смазки, материал деталей, угол подъема резьбы) приведенный коэффициент трения

$$f_1 = \frac{f}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

( $f$  — коэффициент трения) у трапецидальной резьбы на 4%, а у метрической резьбы на 15% больше, чем у прямоугольной. Но прямоугольную резьбу труднее изготовить, она менее прочна и износостойка. В соединениях с трапецидальной резьбой посадка гайки по наклонным боковым сторонам профиля (по среднему диаметру) хорошо центрирует детали, а радиальные и осевые зазоры (мертвый ход) могут быть выбраны стягиванием разрезной гайки, что невозможно при прямоугольной резьбе. Поэтому прямоугольная резьба не стандартизована и не рекомендуется к применению.

**Трапецидальная резьба.** Профиль, размеры и допуски трапецидальной резьбы унифицированы в СССР и в странах — членах СЭВ. По наружному и внутреннему диаметрам предусмотрены одинаковые гарантированные зазоры; по среднему диаметру (кроме соединений с посадкой  $H/h$ ) они обеспечиваются соответствующим расположением полей допусков винта. Верхнее отклонение наружного диаметра гайки не устанавливается. Для шага и угла профиля предельные отклонения отдельно не устанавливаются. Предусмотрен только суммарный допуск среднего диаметра резьбы болта и гайки.

Расположение полей и допусков для однозаходной резьбы показано на рис. 9: для наружной резьбы на рис. 9, а; для внутренней резьбы на рис. 9, б.

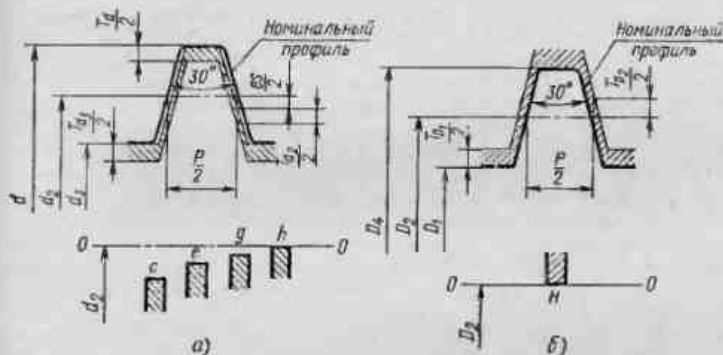


Рис. 9. Расположение полей допусков однозаходной трапецидальной резьбы

По СТ СЭВ 836—76 для  $d_2$  винтов однозаходной трапецидальной резьбы установлены следующие основные отклонения:  $c, e, g, h$ ; для  $d_2$  винтов многозаходной резьбы по СТ СЭВ 185—75 установлены основные отклонения  $c, e, g$ . Для всех диаметров гаек однозаходной и многозаходной трапецидальной резьбы установлено только одно основное отклонение  $H$ . Посадки применяют только в системе отверстия.

Примеры обозначения точности многозаходной резьбы:

Tr20×4 (P2) — 8e — обозначение поля допуска винта;

Tr20×4 (P2) — 8H — обозначение поля допуска гайки;

Tr20×4 (P2) — 8H/8e — обозначение соединения (цифра 4 — ход резьбы; P — шаг резьбы; 2 — его числовое значение).

Примеры обозначения точности однозаходной резьбы:

Tr40×6 — 7e; Tr40×6 — 7H; Tr40×6 — 7H/7e.

В тех случаях, когда для  $d$  однозаходной резьбы назначается поле допуска, отличное от поля допуска для  $d_2$ , оно указывается в обозначении резьбы.

Длина свинчивания резьбы, отличная от нормальной, указывается в мм за условным обозначением резьбы.

Для унификации проходных калибров длина резьбы калибров установлена равной 0,8 средней нормальной длины свинчивания ( $N$ ).

**Упорная резьба.** Упорную резьбу применяют в механизмах с большим односторонним давлением (в домкратах, винтовых прессах, нажимных устройствах рабочих клетей прокатных станков, в соединениях колонн с поперечинами гидропрессов и т. п.).

Для уменьшения момента трения следовало бы принять рабочий угол профиля  $\gamma = 0$ , однако он принят равным  $3^\circ$  главным образом из технологических соображений (можно фрезеровать резьбу, более благоприятны условия нарезания на токарном станке). Угол профиля  $\beta = 30^\circ$ . Для снижения концентрации напряжений и повышения динамической прочности впадина наружной резьбы имеет закругленную форму.

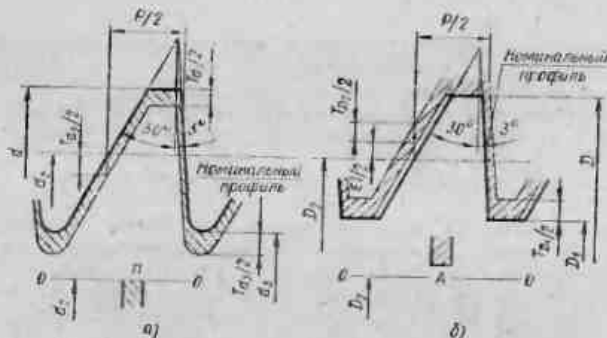


Рис. 10. Расположение полей допусков упорной резьбы: а — наружной б — внутренней

Профиль и размеры упорной резьбы и допуски установлены стандартом СЭВ. Установлены основные отклонения: для  $d_2$  и  $d_3$  наружной резьбы —  $h$ , для  $D$  и  $D_1$  внутренней резьбы —  $H$ , для  $D_2$  —  $A$ . Для  $d_2$ ,  $d_3$  и  $D_2$  установлены 7, 8 и 9-я степени точности, для  $D_1$  — 4-я и для  $d$  —  $b11$  (последнее поле допуска берется по СТ СЭВ 144—75). Допуски определены по формулам:

$$T_d(6) = 180 \sqrt[3]{P^2} - \frac{3,15}{\sqrt{P}}; \quad T_{D_1}(6) = 230P^{0,7};$$

$$T_{d_2}(6) = 90P^{0,4}d^{0,1}; \quad T_{d_3}(7) = 1,25T_{d_2}(7).$$

$$T_{D_2}(6) = 1,32(T_{d_2}).$$

Положение полей допусков показано на рис. 10. Зазор в соединении по среднему диаметру определяется смещением от нулевой линии поля допуска среднего диаметра внутренней резьбы. Зазор по наружному диаметру получается путем уменьшения этого диаметра у наружной резьбы.

Точность резьбы определяется суммарным допуском среднего диаметра. Пример обозначения точности резьбы:  $S80 \times 10 - 7A/7h$ .

В прокатно-прессовом машиностроении находит применение упорная усиленная резьба, отличающаяся от стандартной увеличенным до  $45^\circ$  углом и несколько меньшей рабочей высотой профиля.

## ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ



## 1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗУБЧАТЫМ ПЕРЕДАЧАМ

Наибольшее распространение в машиностроении получили цилиндрические зубчатые и червячные передачи, а также конические и гипоидные зубчатые передачи.

По эксплуатационному назначению все зубчатые передачи можно разделить на четыре основные группы: отсчетные, скоростные, силовые и общего назначения.

К отсчетным относят зубчатые передачи измерительных приборов, делительных механизмов металлорежущих станков и делительных машин, счетно-решающих механизмов и т. п. В большинстве случаев колеса этих передач имеют малый модуль и работают при малых нагрузках и скоростях. Основным эксплуатационным показателем делительных и других отсчетных передач является высокая кинематическая точность, т. е. точная согласованность углов поворота ведущего и ведомого колес передачи. Для реверсивных отсчетных передач существенное значение имеет величина бокового зазора в передаче и колебание этой величины.

Скоростными являются зубчатые передачи турбинных редукторов, двигателей турбовинтовых самолетов и др. Окружные скорости зубчатых колес таких передач могут достигать 60 м/с при сравнительно большой передаваемой мощности (до 40 000 кВт). Их основной эксплуатационный показатель — плавность работы, т. е. отсутствие циклических погрешностей, многократно повторяющихся за оборот колеса. С увеличением скорости вращения требования к плавности работы повышаются. Передача должна работать бесшумно и без вибраций, что может быть достигнуто при минимальных погрешностях формы и взаимного расположения зубьев. Для тяжело нагруженных скоростных зубчатых передач имеет значение также полнота контакта зубьев. Колеса таких передач обычно имеют средние величины модулей. Для них часто ограничивают также интенсивность шума работающей передачи: вибрацию, статическую и динамическую неуравновешенность вращающихся масс и т. п.

К силовым относят зубчатые передачи, передающие значительные крутящие моменты и работающие при малых числах оборотов (зубчатые передачи шестеренных клетей прокатных станков, подъемно-транспортных механизмов и др.). Колеса для таких передач изготавливают с большим модулем. Основное точностное требование к ним — обеспечение более полного использования активных боковых поверхностей зубьев, т. е. получение наибольшего пятна контакта зубьев.

К передачам общего назначения не предъявляются повышенные требования по точности отдельных показателей.

## 2. СИСТЕМЫ ДОПУСКОВ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

В основу построения систем допусков цилиндрических зубчатых и червячных передач, а также конических и гипоидных зубчатых передач положены общие принципы и закономерности. Допуски этих передач установлены стандартами СЭВ.

СТ СЭВ 641—77 распространяется на эвольвентные цилиндрические зубчатые колеса и передачи внешнего и внутреннего зацепления с прямыми, косозубыми и шевронными зубчатыми колесами с делительным диаметром до 6300 мм, шириной зубчатого венца или полушеврона до 1250 мм, модулем зубьев от 1 до 56 мм, с исходным контуром по СТ СЭВ 308—76.

СТ СЭВ 311—76 распространяется на червячные цилиндрические передачи и червячные пары (поставляемые без корпуса) с архимедовыми червяками ZA, эвольвентными червяками ZI, конвольютными червяками ZN всех типов и с червяками типов ZK, образованными конусом с межосевым углом, равным 90°, с модулем от 1 до 25 мм, с делительным диаметром червяка до 450 мм и делительным диаметром червячного колеса до 6300 мм.

СТ СЭВ 186—75 распространяется на конические и гипоидные зубчатые передачи и пары (поставляемые без корпуса) внешнего зацепления с прямыми, тангенциальными и криволинейными зубьями со средним делительным диаметром зубчатых колес до 4000 мм, средним нормальным модулем от 1 до 56 мм, с прямолинейным профилем исходного контура и номинальным углом его профиля 20°.

Стандартами установлены двенадцать степеней точности колес (червяков) и передач, обозначаемых в порядке убывания точности цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12.

Для степеней точности 1 и 2 цилиндрических зубчатых колес и передач, а также степеней точности 1, 2 и 3 конических гипоидных зубчатых передач допуски и предельные отклонения в стандартах не даны. Эти степени предусмотрены для будущего развития.

Для каждой степени точности зубчатых (червячных) колес, червяков, зубчатых (червячных) передач или пар устанавливаются нормы: кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев зубчатых колес (зубьев и витков червячного колеса и червяка) в передаче.

Терминология, а также общие понятия, относящиеся к погрешностям и допускам зубчатых передач всех типов, даны в СТ СЭВ 643—77.

## 8. КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ

Для обеспечения кинематической точности предусмотрены нормы, ограничивающие кинематическую погрешность передачи и кинематическую погрешность колеса.

Кинематическая погрешность передачи определяется как разность между действительным  $\varphi_{2d}$  и номинальным (расчетным)  $\varphi_{2n}$  углами поворота ведомого зубчатого (червячного) колеса (червяка); она выражается в линейных величинах длиной дуги его делительной окружности, т. е. равна  $(\varphi_{2d} - \varphi_{2n})r$ , где  $r$  — радиус делительной окружности ведомого колеса (рис. 1). В червячных передачах, если нет сговорок, ведомым считают червячное колесо.

Кинематическая погрешность зубчатого (червячного) колеса определяется как разность между действительным и номинальным (расчетным) углами поворота зубчатого (червячного) колеса на его рабочей оси (ось, на которой колесо вращается в передаче), ведомого измерительного колесом (червяком) при номинальном взаимном положении осей вращения этих колес (червячного колеса и червяка). Она также выражается в линейных величинах длиной дуги делительной окружности. При назначении требований к точности колеса относительно другой оси (назначен, ось отверстия под вал, которая может не совпадать с рабочей осью), погрешность колеса будет другой, что должно учитываться при установлении точности передачи. При использовании в качестве измерительной базы поверхностей с отклонениями формы и расположения относительно рабочей оси вращения последние следует учитывать при выборе соответствующих допусков или компенсировать их уменьшением производственного допуска.

Показателем кинематической точности передачи является наибольшая кинематическая погрешность передачи  $F'_{ior}$ , которая равна наибольшей алгебраической разности значений кинематической погрешности передачи за полный цикл изменения относительного положения зубчатых колес (рис. 2, а). Полный цикл совершается при повороте большего зубчатого колеса (червячного колеса) на угол  $\varphi_2$ , равный частному от деления числа зубьев меньшего колеса (числа витков червяка)  $z_1$  на наибольший общий делитель  $x$  чисел зубьев (витков)  $z_1$  и  $z_2$ , т. е.

$$\varphi_2 = 2\pi \frac{z_1}{x}. \quad (1)$$

Например,  $z_1 = 40$ ,  $z_2 = 60$ ,  $x = 20$ , тогда  $\varphi_2 = 2\pi \frac{40}{20} = 4\pi$ .

Наибольшая кинематическая погрешность передачи ограничена допуском  $F'_{ior}$ . Допуски на наибольшую кинематическую погрешность передач в стандартах не приведены. Они могут быть определены для цилиндрических и гипоидных зубчатых передач как сумма допусков на наибольшую кинематическую погрешность колеса и шестерни, а для червячных передач — как сумма допуска на накопленную погрешность шага колеса в зависимости от степени по норме кинематической точности и допуска на циклическую погрешность зубцовой частоты в передаче в зависимости от степени по норме плавности (табл. 1, № 1).

Для цилиндрических, а также конических и гипоидных зубчатых передач, состоящих из колес со взаимно кратными числами зубьев, отношение которых не более трех, допуск при селективной сборке передачи исходя из расчета может быть сокращен на 25% или более.

Показателем кинематической точности зубчатого (червячного) колеса является наибольшая кинематическая погрешность зубчатого

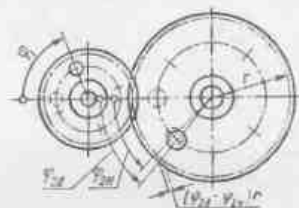


Рис. 1. Схема к определению кинематической погрешности зубчатой передачи

(червячного) колеса  $F'_{ir}$ , которая равна наибольшей алгебраической разности значений кинематической погрешности зубчатого (червячного) колеса за один полный оборот (рис. 2, б).

$F'_{ir}$  является комплексной тангенциальной погрешностью колеса. Погрешность  $F'_{ir}$  ограничена допуском на наибольшую погрешность колеса  $F'_i$ . В стандартах его величина не дается. Величину  $F'_i$  следует определять для цилиндрических зубчатых и червячных колес как сумму допусков на накопленную погрешность шага по колесу в зависимости от степени по нормам кинематической точности и допуска на погрешность профиля, назначаемого в зависимости от степени точности по нормам плавности, а для конических и гипоидных колес — как сумму

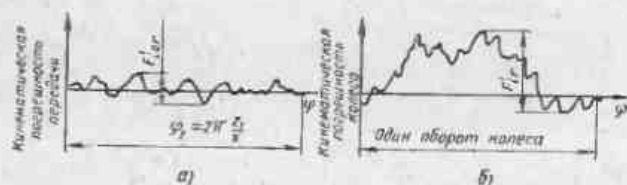


Рис. 2. График кинематической погрешности: а — зубчатой передачи; б — зубчатого колеса (характер графиков показан условно)

допуска на накопленную погрешность шага по нормам кинематической точности и 1,15 допуска на погрешность обката зубцовой частоты (табл. 1, № 2). Допускается нормировать кинематическую погрешность цилиндрических зубчатых колес на  $k$  шагах —  $F'_{ikr}$ , величина допуска  $F'_{ikr}$  может быть определена (табл. 1, № 3).

Кинематическая точность передачи любого типа зависит от следующих погрешностей параметров зубчатого (червячного) колеса: накопленной погрешности  $k$  шагов, накопленной погрешности шага, погрешности обката. Кроме того, составляющими кинематической погрешности в зависимости от типа передачи являются также: для цилиндрических зубчатых передач — колебание длины общей нормали, для цилиндрических зубчатых и червячных передач — радиальное биение зубчатого венца, колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса, а для конических и гипоидных передач — биение зубчатого венца, колебание измерительного межосевого угла пары (измерительной пары), колебание относительного положения зубчатых колес пары (измерительной пары), колебание бокового зазора в передаче.

Накопленная погрешность  $k$  шагов  $F_{pkr}$  — кинематическая погрешность на  $k$  целых угловых шагов, определяется из выражения

$$F_{pkr} = \left( \varphi - \frac{2\pi}{z} k \right) r,$$

где  $\varphi$  — действительный угол поворота колеса, соответствующий  $k$  угловым шагам;  $z$  — число зубьев колеса;  $r$  — радиус делительной

окружности;  $k$  — число целых угловых шагов от 2 до  $z/2$ ;  $\frac{2\pi}{z} k$  — номинальный угол поворота колеса.

Допуск на накопленную погрешность  $k$  шагов  $F_{pk}$  при отсутствии специальных требований назначают для длины дуги, соответствующей  $z/6$  или ближайшему целому числу.

Накопленная погрешность шага зубчатого (червячного) колеса  $F_{pr}$  — наибольшая алгебраическая разность значений накопленных погрешностей, найденных для всех значений  $k$  в пределах от 2 до  $z/2$  (рис. 3). Допуск на накопленную погрешность шага колеса обозначают  $F_p$ .

Допуски  $F_p$  для червячных и конических колес в стандартах не приведены. Их принимают равными допуском  $F_{pk}$ , соответствующим  $k = \frac{z}{2}$  или ближайшему целому числу (табл. 1, № 10). Величина накопленной погрешности шага  $F_{pr}$  в большинстве случаев составляет 70–80% от величины наибольшей кинематической погрешности колеса  $F'_{ir}$ . Накопленная погрешность шага колеса  $F_{pr}$  образуется в основном вследствие монтажного эксцентриситета зубчатого (червячного) колеса и погрешности обката.

Погрешность обката  $F_{cr}$  — составляющая часть кинематической погрешности зубчатого (червячного) колеса, определяемая при его вращении на технологической оси при исключении циклических погрешностей зубцовой частоты и кратных ей более высоким частот. Под технологической понимают ось колеса, вокруг которой оно вращается в процессе окончательной механической обработки зубьев по обеим их сторонам. Погрешность обката возникает из-за неточностей червячного делительного колеса станка, вызывающих несогласованность угловых поворотов, обрабатываемого колеса и перемещения зубообрабатывающего инструмента. Поэтому  $F_{cr}$  можно определить как кинематическую погрешность делительной цепи зуборезного станка, используемого для окончательной обработки зубьев. Погрешность обката ограничивается допуском  $F_c$ .

Радиальное биение зубчатого венца  $F_{rr}$  для цилиндрических зубчатых колес — наибольшая в пределах зубчатого колеса разность расстояний от его рабочей оси до делительной прямой элемента нормального исходного контура одиночного зуба или впадины, условно наложенного на профили зубьев колеса (рис. 4):

Радиальное биение зубчатого венца колеса  $F_{rr}$  для червячных колес — наибольшая в пределах червячного колеса разность расстояний от его рабочей оси до контактной хорды впадины в нормальном ее сечении. Контактная хорда соединяет потенциальные контактные точки, лежащие на разноименных боковых поверхностях впадины.

Биение зубчатого венца  $F_{rr}$  для конических и гипоидных колес — наибольшая в пределах зубчатого колеса разность расстояний от его

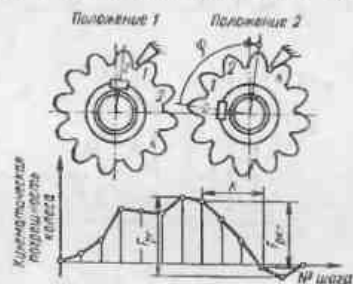


Рис. 3. Накопленные погрешности шага по зубчатому колесу  $F_{pr}$  и на  $k$  шагах  $F_{pkr}$



1. Взаимозаменяемость допусков и предельных отклонений  
Указатель справочных таблиц

Норма	№ по пор.	Наименование допуска или предельного отклонения	Цилиндрические зубчатые передачи		Формулы допусков для передач	
			формулы допусков	№ табл.	червячных	конических
Кинематическая точность	1	Допуск на кинематическую погрешность передачи	$F'_{i0} = F'_{i1} + F'_{i2}$	—	$F'_{i0} = F_p + I_{z20}$	$F'_{i0} = F'_{i1} + F'_{i2}$
	2	Допуск на кинематическую погрешность колеса	$F'_i = F_p + f_i$	—	$F'_i = F_p + I_{f2}$	$F'_i = F_p + 1,15 I_c$
	3	Допуск на кинематическую погрешность колеса на $k$ шагах	$F'_{ik} = F_{pk} + I_i$	—	—	—
	4	Допуск на погрешность обката	$F_c = F_{0W}$	2	$F_c$	$F_c$
	5	Допуск на радиальное биение зубчатого венца	$F_r$	2	$F_r$	—
	6	Допуск на биение зубчатого венца	—	2	—	$F_r$
	7	Допуск на колебание общей нормали	$F_{0W} = F_c$	2	—	—
	8	Допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот	$F'_i = 1,4F_r$	2	$F'_i = 1,4F_r$	—
	9	Допуск на накопленную погрешность $k$ шагов	$F_{pk}$	3	$F_{pk}$	$F_{pk}$
	10	Допуск на накопленную погрешность шага	$F_D$	3	$F_D$	$F_D$
	11	Допуск на колебание измерительного межосевого угла пары (измерительной пары) за цикл (за оборот)	—	—	—	$F'_{i\Sigma 0} = 1,96F_r$ $F'_{i\Sigma} = 0,7F'_{i\Sigma 0}$ $F'_{i\Sigma 0} = F'_{i\Sigma 0}$
	12	Допуск на колебание относительного положения зубчатых колес пары (измерительной пары)	—	—	—	$F'_{i\Sigma 0} = F'_{i\Sigma 0}$

	13	Тельной пары по нормали за цикл (за оборот) Колебание бокового зазора в передаче	—	—	—	$F'_{i\alpha} = 0,7F'_{i\alpha 0}$ $F_{0j} = 1,36F_r$
Плавность работы	14	Предельные отклонения шага	$f_{pt}$	4	$f_{pt}$	$f_{pt}$
	15	Отклонения шага зацепления	$ f_{pb}  =  f_{pt}  \cos \alpha$	4	—	—
	16	Допуск на местную кинематическую погрешность передачи	$f'_{i0} = 1,25f'_i$	4	—	—
	17	Допуск на местную кинематическую погрешность колеса	$f'_i =  f_{pt}  + I_f$	4	—	—
	18	Допуск на погрешность профиля	$f_f$	4	$f_f$ — колесо $f'_i$ — червяк	—
	19	Допуск на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе	$f'_i$	4	—	—
	20	Допуск на кинематическую погрешность зубчатой пары в передаче	$I_{z20}$	5	$I_{z20}$	$I_{z20}$
	21	Допуск на кинематическую погрешность зубчатой пары колеса	$I_{zz} = 0,6I_{z20}$	—	—	—
	22	Допуск на кинематическую погрешность передачи	$I_{zko} = I_{zk}$	6	$I_{zko} = I_{zk}$	$I_{zko} = I_{zk}$
	23	Допуск на кинематическую погрешность колеса	$I_{zk} = (k-0,6+0,13)F_r$	6	$I_{zk} = (k-0,6+0,13)F_r$	$I_{zk} = (k-0,6+0,13)F_r$
	24	Допуск на разность шагов	$f_{opt} = 1,6  f_{pt} $	—	—	—
	25	Допуск на накопленную погрешность $k$ шагов червяка	—	—	$f_{pk}$	—
	26	Допуск на радиальное биение червяка	—	—	$f_r$	—
	27	Предельные отклонения осевого шага червяка	—	—	$f_{px}$	—
	28	Допуск на погрешность винтовой линии в пределах оборота и на длине коренной части червяка	—	—	$f_{hk}$	—

Норма	№ по пор.	Наименование допусков или предельного отклонения	Цилиндрические зубчатые передачи		Формулы допусков для передач червячных		количественных
			формулы допусков	№ табл.	формулы допусков	червячных	
Плавность работы	29	Допуск на погрешность винтовой поверхности ввинта червяка	—	—	$f_{ds}$	—	—
	30	Допуск на колебание измерительного межосевого угла пары (нормальной пары) на одном зубе	—	—	—	$f'_{\Sigma\phi} = 1,96f_{\phi}; f'_{\Sigma\psi}$	—
	31	Допуск на колебание отклонения положения зубчатых колес пары (нормальной пары) по нормали на одном зубе	—	—	—	$f'_{\phi\phi}; f'_{\psi\psi}$	—
	32	Допуск на погрешность обката зубцовой частоты	—	—	—	$f_c$	—
	33	Предельные осевые смещения зубчатого венца	—	—	—	$f_{AM}$	—
	34	Предельные отклонения относительных размеров суммарного пути контакта по высоте и длине	$F_{s1}$ $F_{s2}$	—	$F_{s1}$ $F_{s2}$	—	$F_{s1}$ $F_{s2}$
	35	Предельные отклонения осевых шагов по нормали	$F_{\phi m}$	8	—	—	—
	36	Допуск на суммарную погрешность контактной линии	$F_k$	7	—	—	—
	37	Допуск на погрешность направления зуба	$F_{\beta}$	7	—	—	—
	38	Допуск на испараллельность осей	$f_x = F_{\beta}$	7	—	—	—
	39	Допуск на перекос осей	$f_y = 0,5F_{\beta}$	7	—	—	—

	40	Предельные отклонения межосевого угла в передаче (в обработке)	—	—	$f_{\Sigma}$ $f_{\Sigma c} = 0,75f_{\Sigma}$	—	—
Контакт зубьев	41	Предельные отклонения межосевого расстояния в передаче (в обработке)	—	—	$f_d$ $f_{ac} = 0,75f_{\Sigma}$	—	$f_d$
	42	Предельные смещения средней плоскости колеса в передаче (в обработке)	—	—	$f_x$ $f_{xc} = 0,75f_x$	—	—
	43	Гарантированный боковой зазор	$f_n, \text{ min}$	9	—	$f_n, \text{ min}$	$f_n, \text{ min}$
	44	Предельные отклонения межосевого расстояния	$f_d = \pm f_n, \text{ min}$	—	—	—	—
	45	Наименьшее допустимое смещение исходного контура	$E_{H_s} = - \frac{4,10 \alpha}{(f_n, \text{ min} + h_f)}$ $T_H > F_T$	—	—	—	—
	46	Допуск на смещение исходного контура	$F_{Wm} = - ( E_{H_s}  + 0,35F_T) 2 \sin \alpha$	12	—	—	—
	47	Наименьшее отклонение средней линии общей нормали	$T_{Wm} = (T_H - 0,7F_T) \times 2 \sin \alpha$	13	—	—	—
	48	Допуск на среднюю длину общей нормали	$F_{W_s} = E_{H_s} 2 \sin \alpha$	—	—	—	—
	49	Наименьшее отклонение длины общей нормали	$T_W = T_{\phi^2} \sin \alpha$	—	—	—	—
	50	Допуск на длину общей нормали	$E_{c_s} = E_{H_s}^2 \lg \alpha$	16	—	—	$E_{c_s}$
	51	Наименьшее отклонение толщины зуба (вентка)	$T_c = T_H^2 \lg \alpha$	17	—	—	$T_c$
	52	Допуск на толщину зуба (вентка)	$E_{\alpha^* s} = + f'_i$ $E_{\alpha^* i} = - T_H$	—	—	—	—
	53	Предельные отклонения измерительного межосевого расстояния	—	—	—	—	$E_{sc}$
	54	Наименьшее отклонение средней постоянной хорды зубьев	—	—	—	—	—
	55	Допуск на среднюю постоянную хорду зубьев	—	—	—	—	$T_{sc}$

рабочей оси до элемента нормального исходного контура одиночного зуба или впадины, наложенного на профили зубьев колеса и определяемая в направлении, перпендикулярном образующей делительного конуса на среднем конусном расстоянии.

Погрешность  $F_{rr}$  вызывается неточным совмещением рабочей оси колеса с технологической осью при зубообработке, а также радиальным биением биснем делительного колеса станка. Допуск параметра обозначают  $F_r$ .

Колебание длины общей нормали  $F_{\Sigma W_r}$  для цилиндрических зубчатых колес — разность между максимальным  $W_{\max}$  и минимальным  $W_{\min}$  длинами общей нормали в одном и том же зубчатом

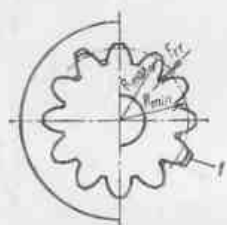


Рис. 4. Радиальное биение зубчатого венца  $F_{rr}$ :  
1 — элемент нормального исходного контура

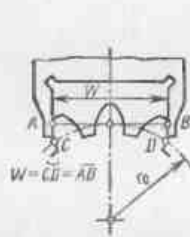


Рис. 5. Длина общей нормали  $W$

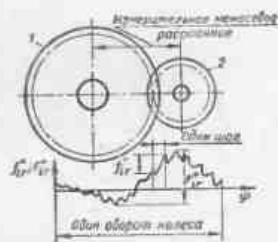


Рис. 6. График колебания измерительного межосевого расстояния за оборот  $F'_{ir}$  и на одном зубе  $f'_{ir}$ :  
1 — контролируемое и 2 — измерительное колеса

колесе:  $F_{\Sigma W_r} = W_{\max} - W_{\min}$ . Длина общей нормали  $W$  — это расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум разноименным активным боковым поверхностям  $A$  и  $B$  зубьев колеса (рис. 5). Общая нормаль к эвольвентным профилям является одновременно касательной к основной окружности. Погрешность  $F_{\Sigma W_r}$  ограничена допуском  $F_{\Sigma W}$ . Колебание длины общей нормали зависит от тангенциальной составляющей погрешности обката при обработке зубчатого колеса.

Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса  $F'_{ir}$  для цилиндрических зубчатых и червячных передач — разность между наибольшим и наименьшим действительными межосевыми расстояниями при беззазорном (двухпрофильном) зацеплении измерительного зубчатого колеса с контролируемым колесом при повороте последнего на полный оборот или на один угловой шаг (рис. 6). Номинальным измерительным межосевым расстоянием для цилиндрических зубчатых колес является расчетное расстояние между осями измерительного и проверяемого колеса, имеющего наименьшее дополнительное смещение исходного контура. Для червячных колес измерительное межосевое расстояние определяется при зацеплении с измерительным червяком, имеющим номинальную толщину витка и лишенным погрешностей. Сопряженные зубья находятся в плотном двухпрофильном зацеплении,

В обоих случаях  $F'_{ir}$  является комплексной радиальной погрешностью и определяется теми же факторами, что и кинематическая погрешность зубчатого (червячного) колеса, за исключением погрешности обката. Допуск показателя  $F'_{ir}$  обозначают  $F'_i$ .

Колебание измерительного межосевого угла пары (измерительной пары) конических колес за полный цикл  $F'_{i\Sigma\sigma r}$  (за полный оборот зубчатого колеса  $F'_{i\Sigma\sigma r}$ ) определяется разностью наибольшего и наименьшего измерительных межосевых углов за полный цикл (за полный оборот колеса) при беззазорном зацеплении (рис. 7).  $F'_{i\Sigma\sigma r}$  и  $F'_{i\Sigma\sigma r}$  определяют как линейные величины на среднем конусном расстоянии.

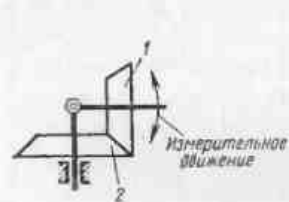


Рис. 7. Колебание измерительного межосевого угла пары конических колес:  
1 — контролируемое колесо; 2 — измерительное колесо (измерительное колесо)

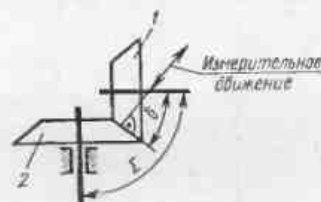


Рис. 8. Колебание относительного положения конических зубчатых колес пары по нормали:  
1 — контролируемое колесо; 2 — измерительное колесо

Колебание относительного положения конических зубчатых колес пары (измерительной пары) по нормали за полный цикл  $F'_{i\nu r}$  (за полный оборот зубчатого колеса  $F'_{i\nu r}$ ) определяется разностью положений одного колеса пары относительно другого. Показатели  $F'_{i\nu r}$  и  $F'_{i\nu r}$  определяются в направлении, перпендикулярном плоскости, проходящей через образующую начальных конусов в касательную к ним (рис. 8). Колебание бокового зазора в передаче  $F_{\nu jr}$  для конических зубчатых передач определяется разностью наибольшего и наименьшего боковых зазоров в пределах полного цикла. Цикл взаимного поворота колес для показателей  $F'_{i\Sigma\sigma r}$ ,  $F'_{i\Sigma\sigma r}$ ,  $F'_{i\nu r}$ ,  $F'_{i\nu r}$  и  $F_{\nu jr}$  находится также, как для показателя  $F'_{i\sigma r}$ . Допуски этих показателей обозначают  $F'_{i\Sigma\sigma}$ ,  $F'_{i\Sigma\sigma}$ ,  $F'_{i\nu\sigma}$ ,  $F'_{i\nu\sigma}$ ,  $F_{\nu j}$ .

Кинематическая точность колес может быть повышена путем снижения радиального биения колеса и обработки его на станке с повышенной кинематической точностью при точном центрировании заготовки в процессе нарезания и шлифования зубьев. Швингование колес не уменьшает их кинематическую погрешность.

Нормы кинематической точности цилиндрических зубчатых колес приведены в табл. 2, 3.

2. Нормы кинематической точности цилиндрических зубчатых колес, мм  
(показатели  $F_{IT}$ ,  $F_{DWT}$ ,  $F_c$ ,  $F'_L$ )

Делительный диаметр $d$ , мм	Показатель точности	Модуль $m$ , мм	Степень точности								
			3	4	5	6	7	8	9	10	
До 125	$F_T$	От 1 до 3,5	6	10	16	25	36	45	80	100	
		Св. 3,5 до 6,3	7	11	18	28	40	50	100	125	
		Св. 6,3 до 10	8	13	20	32	46	56	112	140	
		$F_{DWT}$	От 1 до 10	4	6	10	16	22	28	—	—
	$F_c$	От 1 до 10	4	6	10	16	22	28	—	—	
	$F'_L$	От 1 до 3,5	—	—	22	36	50	63	112	140	
		Св. 3,5 до 6,3	—	—	25	40	56	71	140	180	
		Св. 6,3 до 10	—	—	28	46	63	80	160	200	
	Св. 125 до 400	$F_T$	От 1 до 3,5	9	15	22	36	50	63	90	112
			Св. 3,5 до 6,3	10	16	25	40	56	71	112	140
Св. 6,3 до 10			11	18	28	45	63	80	125	160	
Св. 10 до 16			—	—	32	50	71	90	140	180	
$F_{DWT}$		От 1 до 10	7	12	—	—	—	—	—	—	
		От 1 до 16	—	—	18	28	40	50	—	—	
$F_c$		От 1 до 10	7	12	—	—	—	—	—	—	
		От 1 до 16	—	—	18	28	40	60	—	—	

Продолжение табл. 2

Делительный диаметр $d$ , мм	Показатель точности	Модуль $m$ , мм	Степень точности							
			3	4	5	6	7	8	9	10
Св. 125 до 400	$F'_L$	От 1 до 3,5	—	—	32	50	71	90	125	160
		Св. 3,5 до 6,3	—	—	36	56	80	100	160	200
		Св. 6,3 до 10	—	—	40	63	90	112	180	224
		Св. 10 до 16	—	—	45	71	100	125	200	250
До 800	$F_T$	От 1 до 3,5	11	18	28	45	63	80	100	125
		Св. 3,5 до 6,3	13	20	32	50	71	90	112	140
		Св. 6,3 до 10	14	22	36	56	80	100	125	160
		Св. 10 до 16	—	—	40	63	90	112	160	200
	$F_{DWT}$	От 1 до 10	12	18	—	—	—	—	—	—
		От 1 до 16	—	—	28	45	60	80	—	—
	$F_c$	От 1 до 10	12	18	—	—	—	—	—	—
		От 1 до 16	—	—	28	45	60	80	—	—
	$F'_L$	От 1 до 3,5	—	—	40	63	90	112	140	180
		Св. 3,5 до 6,3	—	—	45	71	100	125	160	200
Св. 6,3 до 10		—	—	50	80	112	140	180	224	
Св. 10 до 16		—	—	56	90	125	160	224	250	

8. Нормы кинематической точности цилиндрических зубчатых колес мм (показатели  $F_{pk}$  и  $F_{pr}$ )

Степень точности	Обозначение	Модуль $m$ , мм	Длина дуги делительной окружности (для $F_{pk}$ ), мм				
			До 11,2	Св. 11,2 до 20	Св. 20 до 32	Св. 32 до 50	Св. 50 до 80
			Делительный диаметр (для $F_{pr}$ ), мм				
			До 12,7	Св. 12,7 до 20,4	Св. 20,4 до 31,8	Св. 31,8 до 50,9	
3	$F_{pk}$   или   $F_{pr}$	От 1 до 10	2,8	4,0	5,0	5,5	6,0
4		От 1 до 10	4,5	6	8	9	10
5		От 1 до 10	7	10	12	14	16
6		От 1 до 16	11	16	20	22	25
7		От 1 до 25	16	22	28	32	36
8		От 1 до 25	22	32	40	45	50

Степень точности	Обозначение	Модуль $m$ , мм	Длина дуги делительной окружности (для $F_{pk}$ ), мм			
			Св. 80 до 160	Св. 160 до 315	Св. 315 до 630	Св. 630 до 1000
			Делительный диаметр (для $F_{pr}$ ), мм			
			Св. 50,9 до 101,8	Св. 101,8 до 203,5	Св. 203,5 до 407,1	Св. 407,1 до 814,2
3	$F_{pk}$   или   $F_{pr}$	От 1 до 10	8,0	11	16	20
4		От 1 до 10	12	18	25	32
5		От 1 до 16	20	28	40	50
6		От 1 до 16	32	45	63	80
7		От 1 до 25	45	63	90	112
8		От 1 до 25	63	90	125	160

## 4. ПЛАВНОСТЬ РАБОТЫ

Плавность работы передач определяется такими параметрами, погрешности которых многократно (циклически) проявляются за оборот зубчатого (червячного) колеса. Они составляют часть кинематической погрешности. Аналитически или при помощи анализаторов кинематическую погрешность можно представить в виде спектра гармонических составляющих, амплитуда и частота которых зависят от характера составляющих погрешностей. Например, отклонения шага вызывают колебания кинематической погрешности с частотой, равной частоте входа в зацепление зубьев колес. Такую частоту называют зубцовой.

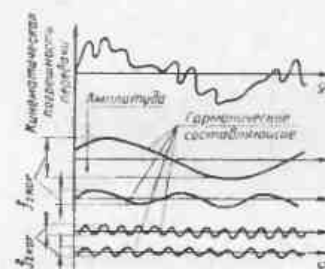


Рис. 9. График кинематической погрешности передачи и ее гармонические составляющие

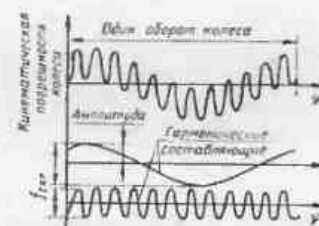


Рис. 10. График кинематической погрешности колеса и ее гармонические составляющие

Для ограничения циклических погрешностей, нарушающих плавность работы передачи, стандартами установлены допуски на амплитуду гармонических составляющих кинематической погрешности:  $f_{zko}$  — допуск на циклическую погрешность передачи;  $f_{zk}$  — допуск на циклическую погрешность колеса.

Под циклической погрешностью передачи  $f_{zko}$  (рис. 9) и зубчатого (червячного) колеса  $f_{zk}$  (рис. 10) понимается удвоенная амплитуда гармонической составляющей кинематической погрешности соответственно передачи и колеса. Допуски  $f_{zko}$  и  $f_{zk}$  в стандартах заданы, они рассчитаны для любой частоты (см. табл. 1, № 22).

Для ограничения циклической погрешности с частотой повторения, равной частоте входа зубьев в зацепление  $f_{z20r}$ , установлен допуск из циклическую погрешность зубцовой частоты в передаче  $f_{z20}$ . Циклическая погрешность зубцовой частоты является главной причиной нарушения плавности зубчатых передач, состоящих из прямозубых колес.

Циклическая погрешность зубчатого (червячного) колеса возникает из-за биения червяка делительной пары станка, биения и перекоса фрезы, а также неточностей станка и инструмента, вызывающих погрешность профиля зубьев колес.

Показателем плавности работы зубчатого (червячного) колеса является отклонение шага. Установлены верхнее и нижнее предельные отклонения шага  $\pm f_{pr}$ . Под *отклонением шага*  $f_{pr}$  понимается кинематическая погрешность зубчатого (червячного) колеса при его повороте на один номинальный угловой шаг, т. е.  $f_{pr} = (\varphi - 2\pi/z) \cdot r$ . Кроме перечисленных выше показателей, характеризующих плавность работы зубчатых передач всех типов, для каждого типа существуют свои специфические показатели.

*Отклонение шага зацепления*  $f_{pr}$  для цилиндрических зубчатых колес — разность между действительным и номинальным шагом зацепления. Действительный шаг зацепления равен расстоянию между



Рис. 11. Отклонение шага зацепления  $f_{pr}$



Рис. 12. Местная кинематическая погрешность  $f'_{ir}$

двумя параллельными плоскостями, касательными к двум одноименным активным боковым поверхностям соседних зубьев зубчатого колеса. Его определяют в сечении, перпендикулярном к направлению зубьев в плоскости, касательной к основному цилиндру (рис. 11). Предельные отклонения шага зацепления обозначают  $\pm f_{pb}$ .

В колесах, получаемых методом обката, отклонение шага зацепления зависит главным образом от погрешности того же элемента нарезающего инструмента (червячной фрезы, долбяка, гребенки), которая переносится на обрабатываемое колесо. Незначительное влияние оказывает точность делительной цепи станка. При наличии отклонений  $f_{pr}$  пересопряжение зубьев сопровождается ударами, повышенным шумом, передача работает не плавно. При этом увеличивается неравномерность нагрузки зубьев, что снижает их долговечность.

*Местная кинематическая погрешность колеса*  $f'_{ir}$  для цилиндрических зубчатых колес — наибольшая разность между местными соседними экстремальными (максимальными и минимальными) значениями кинематической погрешности зубчатого колеса (рис. 12). Допуск —  $f_i$ .

*Разность шагов*  $f_{pr}$  для цилиндрических зубчатых колес — разность между двумя отклонениями шагов на любых участках зубчатого колеса. Допуск —  $f_{pr}$ .

*Погрешность профиля*  $f_f$  для цилиндрических зубчатых и червячных колес — расстояние по нормали между двумя ближайшими номинальными торцовыми профилями  $I_1$  между которыми размещается дей-

ствительный торцевой активный профиль 2 зуба колеса (рис. 13, а). Под действительным торцовым профилем зуба понимают линию пересечения действительной боковой поверхности зуба зубчатого (червячного) колеса плоскостью, перпендикулярной к его рабочей оси. Для червячных колес этот показатель обозначают  $f_{fr}$ . Погрешность профиля витка червяка  $f_{fr}$  определяется в плоскости, касательной к направляющему цилиндру червяка, причем для архимедова червяка радиус этого цилиндра равен нулю, для эвольвентного — радиусу основного цилиндра (рис. 13, б). Допуски обозначаются  $f_f$ , а для червячного колеса и червяка соответственно  $f_{f2}$  и  $f_{f1}$ .

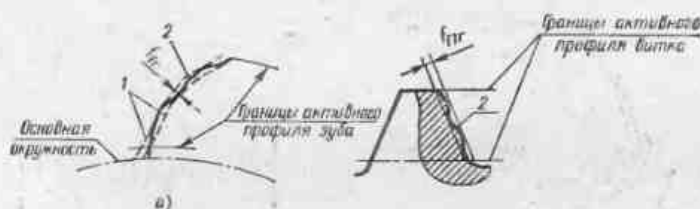


Рис. 13. Погрешность профиля зуба:  
а — зубчатого колеса  $f_f$ ; б — червяка  $f_{fr}$

Погрешность профиля вызывает неравноценность движения, дополнительные динамические нагрузки, а также уменьшает поверхность контакта зубьев.

*Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе*  $f_r$  для цилиндрических зубчатых и червячных колес определяется аналогично показателю кинематической точности  $F'_{ir}$ , но при повороте колеса на один зуб. Допуск —  $f_r$ .

На плавность работы червячных передач оказывают влияние накопленная погрешность  $k$  шагов червяка  $f_{prkr}$  (допуск  $f_{prkh}$ ), радиальное биение червяка  $f_{rr}$  (допуск —  $f_r$ ), которые определяются аналогично соответствующим показателям кинематической точности  $F_{prk}$  и  $F_{rr}$ , отклонение осевого шага червяка  $f_{pr}$  (рис. 14) (предельные отклонения  $\pm f_{pr}$ ), определяемое аналогично показателю  $f_{pr}$ , а также погрешности винтовой линии, ее форма и расположение на поверхности червяка.

*Погрешность винтовой линии в пределах оборота*  $f_{hr}$  и на длине нарезанной части червяка  $f_{hhr}$  — расстояние по нормали между двумя номинальными винтовыми линиями, лежащими на соосном цилиндре, близком к делительному цилиндру червяка. Допуски — соответственно  $f_h$  и  $f_{hh}$ .

*Погрешность формы и расположения винтовой поверхности червяка*  $f_{hr}$  — наибольшее в пределах активной поверхности витка червяка расстояние по нормали между активной поверхностью червяка

и условно соприкасающейся с ней соосно расположенной производящей поверхностью червячной фрезы. Допуск —  $f_{h5}$ .

Показатели плавности работы конических колес: колебание измерительного межосевого угла пары  $f_{i\Sigma\sigma r}$  (измерительной пары  $f_{i\Sigma r}$ ) и колебание относительного положения зубчатых колес пары на одном зубе  $f_{i\text{инор}}$  (измерительной пары  $f_{i\text{инр}}$ ) определяются аналогично соответствующим показателям кинематической точности  $F_{i\Sigma\sigma r}^*$ ,  $F_{i\Sigma n}^*$ ,  $F_{i\text{инор}}^*$ ,  $F_{i\text{инр}}^*$ . Допуски на показатели  $f_{i\Sigma\sigma r}$ ,  $f_{i\Sigma r}$ ,  $f_{i\text{инор}}$ ,  $f_{i\text{инр}}$  обозначены соответственно  $f_{i\Sigma\sigma}$ ,  $f_{i\Sigma}$ ,  $f_{i\text{но}}$ ,  $f_{i\text{н}}$ .

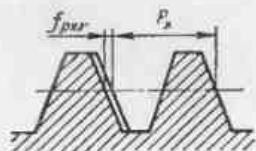


Рис. 14. Отклонение осевого шага червяка  $f_{pwr}$

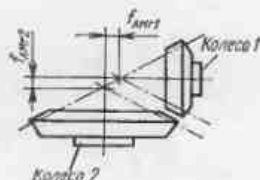


Рис. 15. Осевые смещения зубчатого венца  $f_{AMr1}$  и  $f_{AMr2}$

Для конических колес устанавливаются также допуск  $f_c$  на погрешность обката зубовой частоты и предельные осевые смещения зубчатого венца  $\pm f_{AM}$ .

Погрешность обката зубовой частоты  $f_{cr}$  для конических колес является составляющей кинематической погрешности колеса по частоте, равная зубовой или более высокой, кратной ей. Показатель  $f_{cr}$  определяется на технологической оси при исключении влияния погрешности производящей поверхности инструмента или как погрешность кинематической цепи станка. Осевое смещение зубчатого венца  $f_{AM}$  для конических передач (рис. 15) определяется величиной смещения зубчатого венца вдоль его оси при монтаже передачи от положения, при котором плавность работы и пятно контакта являются наилучшими.

Приведенные выше погрешности, многократно периодически проявляющиеся за оборот колеса, снижают долговечность скоростных и особенно тяжелонагруженных скоростных передач (например, турбинных редукторов). Они вызывают повторяющиеся разрывы контакта сопряженных зубьев, крутильные колебания привода, поперечные колебания валов и вибрацию всего агрегата. Этому сопутствует шум высокого уровня, который увеличивается с увеличением скорости вращения передачи. Чтобы повысить плавность передачи, целесообразно повышать точность зуборезного инструмента и точность червяка, сопряженного делительным колесом станка, а также применять шевингование и зубохонингование колес.

Нормы плавности цилиндрических зубчатых колес приведены в табл. 4—6.

4. Нормы плавности работы цилиндрических зубчатых колес, мкм (показатели  $f'_{ir}$ ,  $f_{prt}$ ,  $f_{pbr}$ ,  $f_{pr}$ ,  $f'_{ir}$ )

Делительный диаметр, мм	Обозначение	Модуль $m$ , мм	Степень точности							
			3	4	5	6	7	8	9	10
До 125	$f'_{ir}$	От 1 до 3,5	6	9	12	18	25	36	—	—
		Св. 3,5 до 6,3	7	10	16	22	32	45	—	—
		Св. 6,3 до 10	8	12	18	28	36	50	—	—
	$f_{prt}$	От 1 до 3,5	$\pm 2,5$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 10$	$\pm 14$	$\pm 20$	$\pm 28$	$\pm 40$
		Св. 3,5 до 6,3	$\pm 3,2$	$\pm 5$	$\pm 8$	$\pm 13$	$\pm 18$	$\pm 26$	$\pm 36$	$\pm 50$
		Св. 6,3 до 10	$\pm 3,6$	$\pm 5,5$	$\pm 9$	$\pm 14$	$\pm 20$	$\pm 28$	$\pm 40$	$\pm 56$
	$f_{pbr}$	От 1 до 3,5	$\pm 2,4$	$\pm 3,8$	$\pm 5,6$	$\pm 9,5$	$\pm 13$	$\pm 19$	$\pm 26$	$\pm 38$
		Св. 3,5 до 6,3	$\pm 3$	$\pm 4,8$	$\pm 7,5$	$\pm 12$	$\pm 17$	$\pm 24$	$\pm 34$	$\pm 48$
		Св. 6,3 до 10	$\pm 3,4$	$\pm 5,3$	$\pm 8,5$	$\pm 13$	$\pm 19$	$\pm 26$	$\pm 38$	$\pm 53$
	$f_{pr}$	От 1 до 3,5	3,6	4,8	6	8	11	14	—	—
		Св. 3,5 до 6,3	4,0	5,3	7	10	14	20	—	—
		Св. 6,3 до 10	4,5	6,0	8	12	17	22	—	—
$f'_{ir}$	От 1 до 3,5	—	—	10	14	20	28	36	45	
	Св. 3,5 до 6,3	—	—	13	18	25	36	45	56	
	Св. 6,3 до 10	—	—	14	20	28	40	50	63	
Св. 125 до 400	$f'_{ir}$	От 1 до 3,5	7	10	14	20	30	40	—	—
		Св. 3,5 до 6,3	8	12	18	25	36	50	—	—
		Св. 6,3 до 10	9	14	20	30	40	60	—	—
		Св. 10 до 16	—	—	22	36	50	71	—	—

Продолжение табл. 4

Действительный диаметр, мм	Обозначение	Модуль $m$ , мм	Степень точности							
			3	4	5	6	7	8	9	10
			Св. 125 до 400							
$f_{pt}$	От 1 до 3,5	±2,8	±4,5	±7	±11	±16	±22	±32	±45	
	Св. 3,5 до 6,3	±3,6	±5,5	±9	±14	±20	±28	±40	±56	
	Св. 6,3 до 10	±4,0	±6	±10	±16	±22	±32	±45	±63	
	Св. 10 до 16	—	—	±11	±18	±25	±36	±50	±71	
$f_{pb}$	От 1 до 3,5	±2,6	±4,5	±6,7	±10	±15	±21	±30	±42	
	Св. 3,5 до 6,3	±3,4	±5,5	±8,5	±13	±19	±26	±36	±53	
	Св. 6,3 до 10	±3,8	±6	±9,5	±15	±21	±30	±42	±60	
	Св. 10 до 16	—	—	±10	±17	±24	±34	±48	±67	
$f_t$	От 1 до 3,5	4,0	5,3	7	9	13	18	—	—	
	Св. 3,5 до 6,3	4,5	6,0	8	11	16	22	—	—	
	Св. 6,3 до 10	5,0	6,5	9	13	19	28	—	—	
	Св. 10 до 16	—	—	11	16	22	32	—	—	
$f_i$	От 1 до 3,5	—	—	11	16	22	32	40	50	
	Св. 3,5 до 6,3	—	—	14	20	28	40	50	63	
	Св. 6,3 до 10	—	—	16	22	32	45	56	71	
	Св. 10 до 16	—	—	18	25	36	50	63	80	
$f'_i$	От 1 до 3,5	8	12	18	25	36	50	—	—	
	Св. 3,5 до 6,3	9	14	20	28	40	56	—	—	

Продолжение табл. 4

Действительный диаметр, мм	Обозначение	Модуль $m$ , мм	Степень точности							
			3	4	5	6	7	8	9	10
			Св. 400 до 800							
$f'_t$	Св. 6,3 до 10	10	16	22	32	50	71	—	—	
	Св. 10 до 16	—	—	25	40	56	80	—	—	
$f_{pt}$	От 1 до 3,5	±3,2	±5	±8	±13	±18	±25	±3	±50	
	Св. 3,5 до 6,3	±3,4	±5,5	±9	±14	±20	±28	±40	±56	
	Св. 6,3 до 10	±4,5	±7	±11	±16	±25	±36	±50	±71	
$f_{pb}$	От 1 до 3,5	±3	±4,8	±7,5	±12	±17	±24	±34	±48	
	Св. 3,5 до 6,3	±3,4	±5,3	±8,8	±13	±19	±26	±36	±53	
	Св. 6,3 до 10	±4,2	±6,7	±10	±17	±24	±34	±48	±67	
$f_t$	От 1 до 3,5	4,5	6,5	9	12	17	25	—	—	
	Св. 3,5 до 6,3	5,0	7,0	10	14	20	28	—	—	
	Св. 6,3 до 10	5,5	7,5	11	16	24	36	—	—	
	Св. 10 до 16	—	—	13	18	26	40	—	—	
$f'_i$	От 1 до 3,5	—	—	13	18	25	36	45	66	
	Св. 3,5 до 6,3	—	—	14	20	28	40	50	63	
	Св. 6,3 до 10	—	—	16	22	32	45	56	71	
	Св. 10 до 16	—	—	20	28	40	56	71	90	



5. Нормы плавности работы цилиндрических зубчатых передач, мм (показатель  $f_{z20r}$ )

Степень точности	Модуль $m$ , мм	Частота $k$ циклической погрешности ( $k = z$ ) за оборот зубчатого колеса						
		До 16	Св. 16 до 32	Св. 32 до 63	Св. 63 до 125	Св. 125 до 250	Св. 250 до 500	Св. 500
3	От 1 до 3,5	3	3	3	3,6	4	4	4,5
	Св. 3,5 до 6,3	3,6	3,6	4	4,5	5	5	6
	Св. 6,3 до 10	4,2	4,5	5	5	6	6	7,1
	От 1 до 3,5	4,5	5	5	5,3	5,6	6,3	7,1
4	Св. 3,5 до 6,3	5,6	5,6	6	6,7	7,1	8	9
	Св. 6,3 до 10	6,7	7,1	7,1	8	8,5	9	11
	От 1 до 3,5	6,7	7,1	7,5	8	8,5	9,5	11
	Св. 3,5 до 6,3	8	8,5	9	10	11	12	14
5	Св. 6,3 до 10	10	11	11	12	13	15	17
	Св. 10 до 16	12	13	14	15	16	18	21
	От 1 до 3,5	10	10	11	12	13	14	16
	Св. 3,5 до 6,3	12	13	14	15	16	18	21
6	Св. 6,3 до 10	14	16	17	18	19	22	25
	Св. 10 до 16	18	19	20	22	24	28	32

Продолжение табл. 5

Степень точности	Модуль $m$ , мм	Частота $k$ циклической погрешности ( $k = z$ ) за оборот зубчатого колеса						
		До 16	Св. 16 до 32	Св. 32 до 63	Св. 63 до 125	Св. 125 до 250	Св. 250 до 500	Св. 500
7	От 1 до 3,5	15	16	17	18	19	21	24
	Св. 3,5 до 6,3	18	19	20	22	24	26	30
	Св. 6,3 до 10	22	24	24	26	30	34	38
	Св. 10 до 16	28	28	30	34	36	42	48
8	От 1 до 3,5	22	24	24	25	28	30	34
	Св. 3,5 до 6,3	28	28	30	32	34	40	45
	Св. 6,3 до 10	32	34	36	38	42	48	56
	Св. 10 до 16	40	42	45	46	53	60	71

Примечания. 1. При контроле передачи частота  $k$  принимается равной  $z$  — числу зубьев колеса.

2. При контроле с измерительным зубчатым колесом частота  $k$  принимается равной  $z$  — числу зубьев контролируемого зубчатого колеса.  $f_{z20}$  — допуск на циклическую погрешность зубчатой частоты зубчатого колеса устанавливается равным  $0,6f_{z20}$ , принимаемого по табл. 5.

3. Допуск на циклическую погрешность частоты  $k = 2z, 3z$  и  $4z$  за оборот колеса передачи устанавливается равным соответственно 0,5; 0,4 и  $0,35f_{z20}$ , где  $f_{z20}$  — величина допуска циклической погрешности частоты  $z$ , принимаемого по табл. 5.

4. Для передач с эффективным коэффициентом осевого перекрытия  $\epsilon_{Be} > 0,45$  допуск на циклическую погрешность зубчатой частоты в передаче принимается равным:

$$\begin{aligned} 0,6f_{z20} & \text{ при } \epsilon_{Be} \text{ св. } 0,15 \text{ до } 0,58; \\ 0,4f_{z20} & > \epsilon_{Be} > 0,58 > 0,67; \\ 0,3f_{z20} & > \epsilon_{Be} > 0,67, \end{aligned}$$

где  $f_{z20}$  — значения по табл. 5.

Соотношение между эффективным  $\epsilon_{Be}$  и номинальным  $\epsilon_B$  коэффициентами осевого перекрытия, зависящее от степени точности передачи по нормам контакта, определяется по нижеприведенным зависимостям:

$$\begin{aligned} \text{Степень точности 3 и 4} & \epsilon_{Be} = 0,85\epsilon_B; \\ & > > 5 & \epsilon_{Be} = 0,72\epsilon_B; \\ & > > 6 & \epsilon_{Be} = 0,58\epsilon_B; \\ & > > 7 & \epsilon_{Be} = 0,46\epsilon_B; \\ & > > 8 & \epsilon_{Be} = 0,36\epsilon_B. \end{aligned}$$

6. Нормы плавности работы цилиндрических зубчатых колес и передач, мм (показатели  $f_{zkr}$  или  $f_{zkor}$ )

Делительный диаметр, мм	Частота $k$ циклической погрешности за оборот колеса	Степень точности					
		3		4		5	
		От 1 до 6,3	Св. 6,3 до 10	От 1 до 6,3	Св. 6,3 до 10	От 1 до 6,3	Св. 6,3 до 10
До 125	От 2 до 4	2,8	3,4	4,5	5,3	7,1	9,0
	» 4 » 8	2,1	2,4	3,2	3,6	5,0	6,7
	» 8 » 16	1,6	1,8	2,4	2,8	3,8	5,0
	» 16 » 32	1,2	1,4	1,9	2,2	3,0	3,8
	» 32 » 63	1,0	1,2	1,5	1,8	2,5	3,2
Св. 125 до 400	От 2 до 4	4,2	4,5	6,3	7,1	10	12
	Св. 4 до 8	2,8	3,4	4,5	5,3	7,5	9,0
	» 8 » 16	2,2	2,5	3,4	4,0	5,6	6,7
	» 16 » 32	1,8	1,9	2,8	3,0	4,5	5,3
	» 32 » 63	1,4	1,6	2,2	2,5	3,6	4,2
Св. 400 до 800	От 2 до 4	5,3	6,0	8,5	9,0	13	15
	Св. 4 » 8	3,8	4,2	6,0	6,7	9,5	11
	» 8 » 16	2,8	3,2	4,5	5,0	7,1	8,5
	Св. 16 до 32	2,2	2,5	3,6	3,8	5,6	6,3
	» 32 » 63	1,8	2,1	2,8	3,2	4,5	5,3

Продолжение табл. 6

Делительный диаметр, мм	Частота $k$ циклической погрешности за оборот колеса	Степень точности					
		6		7		8	
		От 1 до 6,3	Св. 6,3 до 10	От 1 до 6,3	Св. 6,3 до 10	От 1 до 6,3	Св. 6,3 до 10
До 125	От 2 до 4	11	14	18	22	25	32
	» 4 » 8	8,0	10	13	16	18	22
	» 8 » 16	6,0	7,5	9,5	12	14	17
	» 16 » 32	4,8	6,0	7,5	9,5	11	13
	» 32 » 63	3,8	5,0	6,0	8,0	8,5	11
Св. 125 до 400	От 2 до 4	16	19	26	30	36	42
	Св. 4 до 8	12	14	18	22	26	30
	» 8 » 16	8,5	10,5	14	16	20	22
	» 16 » 32	6,7	8,0	11	13	15	18
	» 32 » 63	5,6	6,7	9,0	10	12	15
Св. 400 до 800	От 2 до 4	21	24	32	38	45	53
	Св. 4 » 8	15	17	24	28	34	38
	» 8 » 16	11	13	18	21	25	28
	Св. 16 до 32	9,0	10	14	16	20	22
	» 32 » 63	7,1	8,5	12	14	16	18

## 5. КОНТАКТ ЗУБЬЕВ

Долговечность и износостойкость зубчатых передач зависят от полноты контакта сопряженных боковых поверхностей зубьев колес. При неполном прилегании зубьев уменьшается несущая площадь поверхности их контакта, неравномерно распределяются контактные напряжения и смазка, что приводит к интенсивному износу зубьев. Для обеспечения требуемой полноты контакта зубьев в передаче установлены наименьшие размеры суммарного пятна контакта.

Суммарным пятном контакта называют часть активной боковой поверхности зуба колеса, на которой располагаются следы прилега-

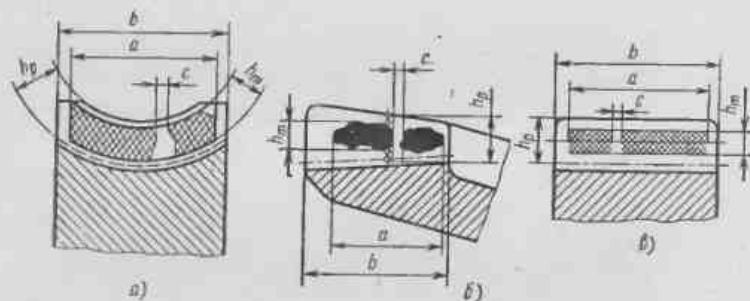


Рис. 16. Пятно контакта зубьев в передаче: а — червячного колеса; б — цилиндрического зубчатого колеса; а — коническое зубчатое колеса

ния его к зубьям парного колеса после вращения собранной передачи при непрерывном контактировании зубьев обоих колес. Для червячных передач суммарное пятно контакта определяется по следам прилегания зуба червячного колеса и червяка. Вращение передачи осуществляется при легком торможении или, если это специально оговорено, под нагрузкой.

Для конических колес суммарное пятно контакта, полученное при легком торможении при условии непрерывного контактирования, называют суммарной зоной касания.

Суммарное пятно (зону касания) (рис. 16) определяют по относительным размерам в %: по длине зуба — отношением расстояния  $a$  между крайними точками следов прилегания за вычетом разрывов  $c$ , превосходящих величину модуля (в мм), к длине зуба  $b$ , т. е.  $(a-c)/b \cdot 100\%$ ; по высоте зуба — отношением средней (по всей длине зуба) высоты следов прилегания  $h_m$  к высоте зуба соответствующей активной боковой поверхности  $h_p$ , т. е.  $\frac{h_m}{h_p} \cdot 100\%$ , или по отклонениям относи-

тельных размеров суммарного пятна контакта по длине  $F_{slr}$  и по высоте  $F_{shr}$ . Отклонения суммарной зоны касания обозначают соответственно  $F_{slr}$  и  $F_{shr}$ . Предельные отклонения обозначают  $F_{sl}$  и  $F_{sh}$ , а для зоны касания —  $F_{sl}$  и  $F_{sh}$ .

Показателем полноты контакта является также мгновенное пятно контакта. Мгновенное пятно контакта — это часть активной боковой поверхности зуба большего зубчатого колеса передачи, на которой располагаются следы его прилегания к зубьям меньшего зубчатого колеса, покрытым красителем, после поворота большего зубчатого колеса на полный оборот при легком торможении, обеспечивающем непрерывное контактирование зубьев обоих колес.

Предельные относительные размеры мгновенного пятна контакта зубьев цилиндрических зубчатых передач 7—11-й степеней точности с числом зубьев колеса, не равным и не кратным числу зубьев шестерни, допускается уменьшать по отношению к соответствующим предельным относительным размерам суммарного пятна контакта, но не более чем на 25%.

При контроле полноты контакта с измерительным зубчатым колесом относительные размеры суммарного пятна контакта должны быть соответственно увеличены.

На полноту контакта колес влияют в зависимости от типа передачи погрешности формы и расположения зубьев, а также погрешности монтажа.

Цилиндрические зубчатые передачи. Отклонение осевых шагов по нормали  $F_{pxnr}$  — разность между действительным осевым расстоянием зубьев и суммой соответствующего числа номинальных осевых шагов, умноженная на синус угла наклона делительной линии зуба  $\beta$ , т. е.  $F_{pxnr} = x \sin \beta$  (рис. 17, а). Под действительным осевым расстоянием зубьев понимают расстояние между одноименными линиями зубьев косозубого зубчатого колеса по прямой, параллельной рабочей оси. Расстояние между одноименными линиями соседних зубьев является действительным осевым шагом. Предельные отклонения осевых шагов  $\pm F_{pxr}$ .

Погрешность формы и расположения контактной линии (потенциальной)  $F_{kr}$  — расстояние по нормали между двумя ближайшими номинальными потенциальными контактными линиями 1 (рис. 17, б), условно помещенными на плоскость (поверхность) зацепления, между которыми размещается действительная потенциальная контактная линия 2 на активной боковой поверхности зуба. Под потенциальной контактной линией понимают линию пересечения поверхности зуба поверхностью зацепления.

Допуск на погрешность формы и расположения контактной (потенциальной) линии —  $F_k$ .

Погрешностью направления зуба  $F_{\beta}$  называют расстояние по нормали между двумя ближайшими номинальными делительными линиями зуба 1 (рис. 17, в), между которыми размещается действительная делительная линия зуба 2, соответствующая рабочей ширине венца. Под действительной делительной линией зуба понимают линию пересечения действительной боковой поверхности зуба колеса делительным цилиндром, ось которого совпадает с рабочей осью. Допуск —  $F_{\beta}$ .

Непараллельность осей  $f_{xr}$  — непараллельность проекций рабочих осей зубчатых колес в передаче на плоскость, в которой лежит одна из осей и точка второй оси в средней плоскости передачи (рис. 17, г). Под средней плоскостью передачи понимают плоскость, проходящую через середину рабочей ширины венца или (для шевронной передачи) через середину расстояния между внешними торцами, ограничивающими рабочую ширину полушевроннов.

**Перекося осей  $f_{\Sigma r}$**  — непараллельность проекций рабочих осей зубчатых колес в передаче на плоскость, проходящую через одну из осей и перпендикулярную к плоскости, в которой лежит эта ось и точка второй оси в средней плоскости передачи.

Непараллельность и перекося определяются в линейных единицах на длине, равной рабочей ширине венца или ширине полушевра. Эти погрешности характеризуют точность монтажа передачи и ограничиваются соответственно допусками  $f_x$  и  $f_y$ .

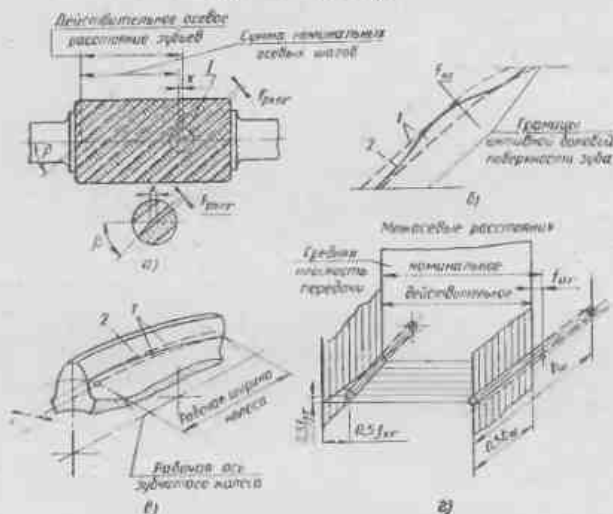


Рис. 17. Погрешности, влияющие на полноту контакта зубьев в цилиндрической зубчатой передаче: а — отклонение осевых штов по нормали  $F_{\Sigma r}$ ; б — погрешность формы и расположения контактной линии  $F_k$ ; в — погрешность направления зуба  $F_{\beta r}$ ;  $f_{\Sigma r}$  — непараллельность осей  $f_{\Sigma r}$  и перекося осей  $f_{\Sigma r}$ ; отклонение межосевого расстояния  $f_{\Sigma c}$ .

**Червячные передачи. Отклонение межосевого угла в передаче  $f_{\Sigma r}$**  и в обработке  $f_{\Sigma r}$  — разность между действительным и номинальным межосевыми углами. Определяется на ширине зубчатого венца колеса в линейных величинах (рис. 18, а). Предельные отклонения соответственно  $\pm f_x$  и  $\pm f_y$ .

**Отклонение межосевого расстояния в передаче  $f_{\Sigma c}$**  и в обработке  $f_{\Sigma c}$  — разность между действительным и номинальным межосевыми расстояниями (рис. 18, б). Предельные отклонения соответственно  $\pm f_x$  и  $\pm f_y$ .

**Смещение средней плоскости колеса в передаче  $f_{\Sigma r}$**  и в обработке  $f_{\Sigma r}$  — расстояние между средней плоскостью колеса и плоскостью, перпендикулярной его оси и проходящей через ось червяка (рис. 18, в). Предельные отклонения соответственно  $\pm f_x$  и  $\pm f_y$ .

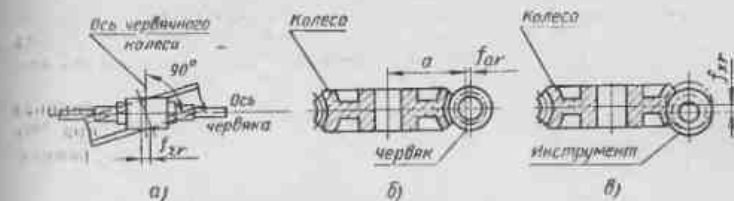


Рис. 18. Погрешности, влияющие на полноту контакта зубьев и витков в червячной передаче: а — отклонение межосевого угла  $f_{\Sigma r}$ ; б — отклонение межосевого расстояния  $f_{\Sigma c}$ ; в — смещение средней плоскости колеса  $f_{\Sigma c}$ .

**Конические зубчатые передачи.** Суммарное пятно контакта зависит от отклонения межосевого расстояния  $f_{\Sigma c}$ , которое определяется для конических передач как отклонение действительного межосевого расстояния от его номинального нулевого значения. Предельные отклонения  $\pm f_a$ .

Нормы контакта цилиндрических зубчатых передач приведены в табл. 7, 8.

7. Нормы контакта зубьев цилиндрических зубчатых колес и передач, мм (показатели  $F_{\beta r}$ ,  $F_k$ ,  $F_{\Sigma r}$ ,  $f_{\Sigma c}$ ,  $f_{\Sigma r}$ )

Ширина зубчатого венца (полушевра) или длина контактной линии, мм	Обозначение	Модуль т, мм	Степень точности							
			3	4	5	6	7	8	9	10
До 40	$F_{\beta r}$	От 1 до 10	$\pm 6,3$	$\pm 8$	$\pm 11$	$\pm 12$	$\pm 16$	$\pm 25$	$\pm 40$	—
	$F_k$	От 1 до 3,5	8	11	14	18	22	36	56	90
		От 3,5 до 6,3	10	12	16	20	25	40	63	100
	$f_{\Sigma r}$	От 6,3 до 10	12	14	20	25	30	45	80	125
		$F_{\Sigma r}$	От 1 до 10	4,5	5,5	7	9	11	18	28
	$f_{\Sigma c}$	От 1 до 10	4,5	5,5	7	9	11	18	28	45
$f_{\Sigma r}$	От 1 до 10	2,2	2,8	4	4,5	5,6	9	14	22	

Продолжение табл. 7

Ширина зубчатого венца (полушестерня) или длина контактной линии, мм	Обозначение	Модуль $m$ , мм	Степень точности								
			3	4	5	6	7	8	9	10	
Св. 40 до 100	$F_{pxl}$	От 1 до 16	$\pm 7,1$	$\pm 10$	$\pm 12$	$\pm 14$	$\pm 18$	$\pm 25$	$\pm 40$	—	
	$F_k$	От 1 до 3,5	9	12	16	20	25	40	60	100	
		От 3,5 до 6,3	11	14	18	22	28	45	71	112	
		От 6,3 до 10	12	16	20	25	32	50	80	125	
		От 10 до 16	—	—	25	30	40	60	100	160	
	$F_{\beta}$	От 1 до 16	6	8	10	12	16	25	40	63	
	$l_x$	От 1 до 16	6	8	10	12	16	25	40	63	
	$l_y$	От 1 до 16	4	5	6,3	8	12	20	32	—	
	Св. 100 до 160	$F_{pxl}$	От 1 до 16	$\pm 8$	$\pm 11$	$\pm 14$	$\pm 16$	$\pm 20$	$\pm 32$	$\pm 50$	—
		$F_k$	Св. 1 до 3,5	10	14	16	22	28	40	60	100
Св. 3,5 до 6,3			11	14	20	25	30	50	80	112	
Св. 6,3 до 10			14	16	22	28	36	56	90	140	
Св. 10 до 16			—	—	25	32	40	63	100	160	

Продолжение табл. 7

Ширина зубчатого венца (полушестерня) или длина контактной линии, мм	Обозначение	Модуль $m$ , мм	Степень точности							
			3	4	5	6	7	8	9	10
Св. 100 до 160	$F_{\beta}$	От 1 до 16	8	10	12	16	20	32	50	80
	$l_x$	От 1 до 16	8	10	12	16	20	32	50	80
	$l_y$	От 1 до 16	4	5	6,3	8	10	16	25	40

Примечания: 1.  $F_k$  определяется в зависимости от длины контактной линии. Для зубчатых колес с номинальным коэффициентом осевого перекрытия  $\epsilon_{\beta}$  до 0,8 допуск на суммарную погрешность контактной линии  $F_k$  принимается:

$$\begin{aligned} \text{при } \epsilon_{\beta} \text{ от } 0 \text{ до } 0,2 & F_k = F_{\beta} \\ > \epsilon_{\beta} \text{ св. } 0,2 \text{ до } 0,4 & F_k = 1,3F_{\beta} \\ > \epsilon_{\beta} = 0,4 \text{ } > 0,6 & F_k = 1,5F_{\beta} \\ > \epsilon_{\beta} = 0,6 \text{ } > 0,8 & F_k = 1,7F_{\beta} \end{aligned}$$

Если вычисленные значения  $F_k$  превышают значения  $F_k$ , установленные в табл. 7, то они принимаются по указанной таблице. Значения  $F_{\beta}$  принимаются по табл. 7.

2.  $F_{pxl}$ ,  $F_{\beta}$ ,  $l_x$ ,  $l_y$  определяются в зависимости от ширины зубчатого венца (полушестерня).

3. При использовании отклонения шага зацепления  $f_{\beta}$  в качестве показателя контакта зубьев предельные отклонения выбираются по табл. 4 в соответствии со степенью точности, принятой по нормам контакта.

#### 8. Нормы контакта зубьев цилиндрических зубчатых передач, мкм (суммарное пятно контакта)

Степень точности	Относительные размеры суммарного пятна контакта, %		Степень точности	Относительные размеры суммарного пятна контакта, %	
	по высоте зубьев, не менее	по длине зубьев, не менее		по высоте зубьев, не менее	по длине зубьев, не менее
3	65	95	7	45	60
4	60	90	8	40	50
5	55	80	9	30	40
6	50	70	10	25	30

### 6. БОКОВОЙ ЗАЗОР

Боковой зазор  $j_m$  в зубчатой передаче определяется как зазор, обеспечивающий свободный поворот зубчатого (червячного) колеса при неподвижном втором зубчатом колесе (червяке). Боковой зазор в передаче необходим для устранения возможности заклинивания при нагреве передачи, обеспечения условий протекания смазки, для компенсации погрешностей изготовления и монтажа. Кроме того, величина зазора влияет на мертвый ход при реверсировании отсчетных и делительных передач, а также на ударный импульс по рабочим профилям, который возникает в случае разрыва контакта рабочих профилей из-за динамических явлений.

Стандартами устанавливается **гарантированный боковой зазор**  $j_{n \min}$  — наименьший предписанный боковой зазор. Для удовлетворения требований различных отраслей промышленности предусмотрено шесть видов сопряжений, определяющих различную величину  $j_{n \min}$ : A, B, C, D, E, H (рис. 19), а также установлены виды допусков на боковой зазор: a, b, c, d, h. Обозначения даны в порядке убывания величины бокового зазора и допуска на него. Видам сопряжений H и E соответствует вид допуска на боковой зазор h, видам сопряжений A, B, C, D — вид допуска соответственно a, b, c, d. Допускается изменять соответствие между видом сопряжения и видом допуска, при этом для цилиндрических зубчатых и червячных передач могут быть использованы виды допуска на боковой зазор x, y, z.

Для цилиндрических зубчатых передач устанавливается также шесть классов отклонений межосевого расстояния (I, II, III, IV, V, VI). Видам сопряжений H, E соответствует II класс, видам сопряжений D, C, B, A — соответственно III, IV, V, VI классы. Указанное соответствие разрешается менять.

Погрешности изготовления и монтажа колес учитывают при определении наибольшего бокового зазора. Разность между наибольшим и гарантированным зазорами должна быть достаточной для компенсации погрешностей изготовления и монтажа колес. Величина компенсации уменьшения бокового зазора, возникающего из-за погрешностей изготовления цилиндрических зубчатых колес и монтажа передачи  $k_f$ , определяется по формуле

$$k_f = \sqrt{(l_a^2 \sin^2 \alpha)^2 + 2f_{pb}^2 + 2f_b^2 + (f_x \sin \alpha)^2 + (f_g \cos \alpha)^2}. \quad (2)$$

Для червячных передач вероятная величина наибольшего бокового зазора может быть определена по зависимости

$$j_{n \max} = (E_{ss} + T_z + E_{cso}) \cos \alpha + z \sin \alpha \sqrt{\frac{F_f^2}{4} + f_a^2 + f_{ac}^2}, \quad (3)$$

где  $E_{cso}$  — верхнее отклонение толщины зуба червячной фрезы от номинального размера толщины витка червяка.

В зависимости от типа зубчатой передачи боковой зазор обеспечивается по-разному.

**Цилиндрические зубчатые передачи.** С целью обеспечения в передаче гарантированного бокового зазора осуществляется **дополнительное смещение исходного контура**  $E_H$ . Дополнительное смещение исходного контура рейки (зуборезного инструмента) от его номинального положения (рис. 20) производится по радиусу в тело колеса. Номиналь-

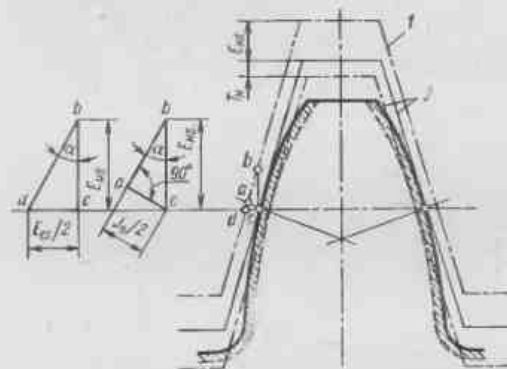


Рис. 20. Смещение исходного контура: 1 — номинальное положение; 2 — предельные дополнительные смещения

ным положением исходного контура условно считают то, которое получается после его смещения при корригировании зубчатых колес.

**Наименьшее дополнительное смещение** назначают в зависимости от степени точности по нормам плавности и вида сопряжения и обозначают: для зубчатых колес с внешними зубьями —  $E_{Hs}$ , для колес с внутренними зубьями —  $E_{Hf}$ . Допуск  $T_H$  на смещение исходного контура установлен в зависимости от допуска на радиальное биение  $F_r$ , вида сопряжения, причем  $T_H > F_r$ . Показателями, обеспечивающими гарантированный боковой зазор, для колес является также наименьшее отклонение средней длины линии общей нормали  $E_{wms}$  ( $E_{wmi}$ ) (рис. 21, а); наименьшее отклонение толщины зуба по постоянной хорде в нормальном сечении  $E_{cs}$ ; предельные отклонения измерительного межосевого расстояния; верхнее  $E_{ar}$ , нижнее  $E_{ad}$  (рис. 21, б). Установлены допуски на среднюю длину общей нормали  $T_{wm}$  и на толщину зуба  $T_z$ .

В собранных передачах показателями бокового зазора являются: для передач с нерегулируемым расположением осей предельные отклонения межосевого расстояния  $\pm I_u$ , а с регулируемым — гарантированный боковой зазор  $j_{n \min}$ .

Червячные передачи. Гарантированный боковой зазор в передаче обеспечивается наименьшим отклонением толщины витка червяка по хорде  $E_{\Sigma}^-$ , которое является наименьшим предписанным уменьшением

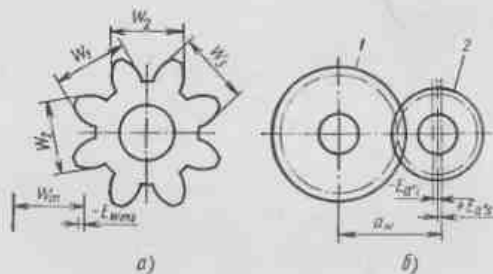


Рис. 21. Предельные отклонения: а — средней длины общей нормали  $E_{Wms}^-$ ; б — измерительного межосевого расстояния  $E_{a'as}$ ; 1 — контролируемое колесо; 2 — измерительное колесо

контактной хорды витка, определяемым в нормальном сечении к витку. Допуск на толщину витка  $T_{\Sigma}^-$  (рис. 22).

Конические зубчатые передачи. Гарантированный боковой зазор обеспечивается выбором предельных отклонений межосевого угла передачи  $\pm E_{\Sigma}$ , а также наименьшего отклонения средней постоянной хорды

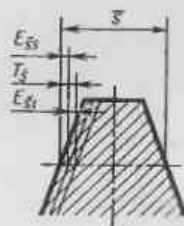


Рис. 22. Наименьшее  $E_{53}$  и наибольшее  $E_{51}$  отклонения толщины витка червяка

зубьев  $E_{\Sigma cs}^-$  (допуск  $T_{\Sigma}^-$ ) и наименьшего отклонения средней делительной толщины зуба по хорде  $E_{\Sigma}^-$  (допуск  $T_{\Sigma}^-$ ). Показатели  $E_{\Sigma cs}^-$  и  $E_{\Sigma}^-$  являются наименьшим предписанным уменьшением соответственно постоянной хорды зуба и средней делительной толщины зуба, осуществляемым с целью создания гарантированного бокового зазора.

Нормы бокового зазора цилиндрических зубчатых передач приведены в табл. 9—17.

9. Нормы бокового зазора цилиндрических зубчатых передач, мм (показатели  $I_H$  или  $I_a$ )

Вид сопряжения	Класс отклонения межосевого расстояния	Обозначение	Межосевое расстояние $a_{\text{нр}}$ мм				
			До 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315
H	II	$I_H$ мм	0	0	0	0	0
E	II		30	35	40	46	52
D	III		46	54	63	72	81
C	IV		74	87	100	115	130
B	V		120	140	160	185	210
A	VI		190	220	250	290	320
—	I	$I_a$	$\pm 10$	$\pm 11$	$\pm 12$	$\pm 14$	$\pm 16$
H, E	II		$\pm 16$	$\pm 18$	$\pm 20$	$\pm 22$	$\pm 25$
D	III		$\pm 22$	$\pm 28$	$\pm 30$	$\pm 35$	$\pm 40$
C	IV		$\pm 35$	$\pm 45$	$\pm 50$	$\pm 55$	$\pm 60$
B	V		$\pm 60$	$\pm 70$	$\pm 80$	$\pm 90$	$\pm 100$
A	VI		$\pm 100$	$\pm 110$	$\pm 120$	$\pm 140$	$\pm 160$
Вид сопряжения	Класс отклонения межосевого расстояния	Обозначение	Межосевое расстояние $a_{\text{нр}}$ мм				
			Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800	Св. 800 до 1000
H	II	$I_H$ мм	0	0	0	0	0
E	II		57	63	70	80	90
D	III		89	97	110	125	140
C	IV		140	155	175	200	230
B	V		230	250	280	320	360
A	VI		360	400	440	500	560

Продолжение табл. 4

Вид сопряжения	Класс отклонения межосевого расстояния	Обозначение	Межосевое расстояние $a_w$ , мм				
			Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800	Св. 800 до 1000
—	I	$f_a$	±18	±20	±22	±25	±28
H, E	II		±28	±30	±35	±40	±45
D	III		±45	±50	±55	±60	±70
C	IV		±70	±80	±90	±100	±110
B	V		±110	±120	±140	±160	±180
A	VI		±180	±200	±220	±250	±280

10. Нормы бокового зазора цилиндрических зубчатых колес, мм (показатель —  $E_{H2}$  или +  $E_{H1}$ )

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавно-сты	Делительный диаметр $d$ , мм									
		До 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800	Св. 800 до 1000
H	3—6	12	14	16	18	20	22	25	28	30	40
	7	14	16	18	20	22	25	28	30	35	45
E	3—6	30	35	40	46	52	57	63	70	80	90
	7	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100
D	3—6	46	54	63	72	81	89	97	110	125	140
	7	50	60	70	80	90	100	110	120	140	160
	8	55	70	80	90	100	110	120	140	160	180
C	3—6	74	87	100	115	130	140	155	175	200	230
	7	80	100	110	120	140	160	180	200	220	250
	8	90	110	120	140	160	180	200	220	250	280
	9	100	120	140	160	180	200	220	250	280	300

Продолжение табл. 10

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавно-сты	Делительный диаметр $d$ , мм									
		До 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800	Св. 800 до 1000
B	3—6	120	140	160	185	210	230	250	280	320	360
	7	140	160	180	200	250	250	280	300	350	400
	8	140	160	200	220	250	280	300	350	400	450
	9	160	180	200	250	280	300	350	400	400	450
	10	160	200	220	250	300	350	350	400	450	500
	11	180	220	250	280	300	350	400	400	500	550
A	3—6	190	220	250	290	320	360	400	440	500	560
	7	200	250	280	300	350	400	450	500	550	600
	8	220	280	300	350	400	450	500	550	600	700
	9	250	280	350	400	400	500	500	600	700	800
	10	280	300	350	400	450	500	600	600	700	800
	11	280	350	400	450	500	550	600	700	800	900
12	300	350	450	500	500	600	700	700	800	900	

11. Нормы бокового зазора цилиндрических зубчатых колес, мм (допуск  $T_H$ )

Вид сопряжения	Вид допуска	Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мкм							
		До 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 12	Св. 12 до 16	Св. 16 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 32	
H, E	h	28	30	35	40	40	45	55	
D	d	35	40	40	45	55	60	70	
C	c	45	50	55	60	70	80	90	
B	b	55	60	70	70	80	90	100	
A	a	70	80	80	90	100	110	140	
—	x	90	100	100	110	120	140	160	
—	y	110	120	140	140	160	180	200	
—	z	140	160	160	180	200	220	250	



Продолжение табл. 11

Вид сопряжения	Вид допуска	Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мкм							
		Св. 32 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80	Св. 80 до 100	Св. 100 до 125	Св. 125 до 160	Св. 160 до 200
H, E	h	60	70	80	110	120	160	200	250
D	d	80	90	100	140	160	200	250	300
C	c	100	120	140	180	200	250	300	400
B	b	120	140	180	200	250	300	400	500
A	a	160	180	200	250	300	350	450	550
—	z	180	220	250	300	350	450	550	700
—	y	250	280	350	400	500	600	700	900
—	x	300	350	400	500	600	700	900	1100

12. Нормы бокового зазора цилиндрических зубчатых колес, мм (показатель  $-E_{Wms}$  или  $+E_{Wml}$  — слагаемое I и  $-E_{Wz}$  или  $+E_{Wl}$ )

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	Делительный диаметр $d$ , мм			
		До 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 180	Св. 180 до 250
H	3—6	8	10	11	12
	7	10	10	12	14
E	3—6	20	24	28	30
	7	25	30	30	35
D	3—6	30	35	40	50
	7	35	40	50	55
	8	40	50	50	60
C	3—6	50	60	70	80
	7	55	70	70	80
	8	60	80	80	100
	9	70	80	100	110

Продолжение табл. 12

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	Делительный диаметр $d$ , мм				
		До 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 180	Св. 180 до 250	
B	3—6	80	100	110	120	
	7	100	110	120	140	
	8	100	110	140	140	
	9	110	120	140	160	
	10	110	140	160	180	
	11	120	160	180	200	
A	3—6	120	140	180	200	
	7	140	180	200	200	
	8	160	200	200	250	
	9	180	200	250	280	
	10	200	200	250	280	
	11	200	250	280	300	
	12	200	250	300	350	
Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	Делительный диаметр $d$ , мм				
		Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800
H	3—6	14	16	18	20	22
	7	16	18	20	22	25
E	3—6	35	40	45	50	55
	7	40	45	50	55	60
D	3—6	55	60	70	70	90
	7	60	70	70	80	100
	8	70	70	80	90	110

Продолжение табл. 12

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плоскости	Делительный диаметр $d$ , мм				
		Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800
С	3—6	90	100	110	120	140
	7	100	110	120	140	140
	8	110	120	140	140	160
	9	120	140	140	160	200
В	3—6	140	160	180	200	220
	7	160	180	200	200	250
	8	180	200	200	250	280
	9	200	200	250	280	300
	10	200	250	250	280	350
	11	200	250	250	280	350
А	3—6	220	250	280	300	350
	7	250	280	300	350	350
	8	280	300	350	350	400
	9	280	350	350	400	500
	10	300	350	400	400	500
	11	350	350	400	500	550
	12	350	400	500	500	550

Примечание 1. Величина наименьшего отклонения средней длины общей нормали  $E_{Wms}$  ( $E_{Wml}$ ) определяется сложением слагаемого I (табл. 12) со слагаемым II (табл. 13).

Например, величина  $E_{Wms}$  для колеса 8-й степени точности с  $d = 300$  мм,  $m = 5$  мм, сопряжения С будет равна: по табл. 12 — 110 мкм и по табл. 13 — 18 мкм.

Таким образом,  $E_{Wms} = (-110) + (-18) = -128$  мкм (или  $E_{Wml} = +128$  мкм). Величина наименьшего отклонения длины общей нормали  $E_{Wz}$  определяется по табл. 12. Эта величина равна —110 мкм.

13. Нормы бокового зазора цилиндрических зубчатых колес, мм (показатель —  $E_{Wms}$  или +  $E_{Wml}$  — слагаемое II)

Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мкм							
До 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 12	Св. 12 до 16	Св. 16 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 32	Св. 32 до 40
2	2	3	3	4	5	7	9
Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_{r'}$ , мкм							
Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80	Св. 80 до 100	Св. 100 до 125	Св. 125 до 160	Св. 160 до 200	
11	14	18	22	25	35	45	

Примечание. См. примечание к табл. 12.

14. Нормы бокового зазора цилиндрических зубчатых колес, мкм ( $T_{Wm}$  — допуск на среднюю длину общей нормали)

Вид сопряжения	Вид допуска*	Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мкм						
		До 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 12	Св. 12 до 16	Св. 16 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 32
H, E	h	16	16	18	20	20	20	22
D	d	20	25	25	25	28	30	35
C	c	28	30	30	35	40	45	45
B	b	35	40	40	40	45	50	55
A	a	45	50	50	55	60	60	80
—	z	60	60	60	70	70	80	100
—	y	70	90	90	90	100	110	120
—	x	90	100	100	110	120	140	160

Продолжение табл. 14

Вид сопряжения	Вид допуска*	Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мкм							
		Св. 32 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80	Св. 80 до 100	Св. 100 до 125	Св. 125 до 160	Св. 160 до 200
<i>H, E</i>	<i>h</i>	25	25	28	30	40	55	70	80
<i>D</i>	<i>d</i>	40	40	40	60	70	80	100	120
<i>C</i>	<i>c</i>	50	60	70	90	110	120	140	180
<i>B</i>	<i>b</i>	60	70	100	100	120	140	200	250
<i>A</i>	<i>a</i>	90	100	110	140	150	180	240	280
—	<i>z</i>	110	120	140	180	200	250	300	400
—	<i>v</i>	160	180	220	240	300	350	400	600
—	<i>x</i>	180	220	250	300	350	400	550	700

\* Вид допуска используется при изменении соответствия между видом сопряжения и видом допуска.

15. Нормы бокового зазора цилиндрических зубчатых колес, мкм  
( $T_W$  — допуск на длину общей нормали)

Вид сопряжения	Вид допуска	Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мкм						
		До 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 12	Св. 12 до 16	Св. 16 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 32
<i>H, E</i>	<i>h</i>	20	20	25	28	28	30	35
<i>D</i>	<i>d</i>	25	28	28	30	35	40	50
<i>C</i>	<i>c</i>	35	35	35	40	50	55	60
<i>B</i>	<i>b</i>	35	40	50	50	55	60	70
<i>A</i>	<i>a</i>	50	55	55	60	70	80	100
—	<i>z</i>	60	70	70	70	80	100	110
—	<i>v</i>	80	80	100	100	110	120	140
—	<i>x</i>	100	110	110	120	140	140	180

Продолжение табл. 15

Вид сопряжения	Вид допуска	Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мкм							
		Св. 32 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80	Св. 80 до 100	Св. 100 до 125	Св. 125 до 160	Св. 160 до 200
<i>H, E</i>	<i>h</i>	40	50	60	70	80	100	140	160
<i>D</i>	<i>d</i>	55	60	70	100	110	140	160	200
<i>C</i>	<i>c</i>	70	80	100	120	140	180	200	280
<i>B</i>	<i>b</i>	80	100	120	140	180	200	260	350
<i>A</i>	<i>a</i>	110	120	140	180	200	250	300	350
—	<i>z</i>	120	140	180	200	250	300	350	500
—	<i>v</i>	180	200	250	280	350	400	500	600
—	<i>x</i>	200	250	280	350	400	500	600	800

16. Нормы бокового зазора, цилиндрических зубчатых колес, мкм (показатель  $E_{cs}$ )

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	Делительный диаметр $d$ , мм								
		До 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800
<i>H</i>	3—6	9	10	12	14	16	16	18	20	22
	7	10	12	14	14	16	18	20	22	25
<i>E</i>	3—6	22	25	30	35	40	40	45	50	60
	7	25	30	35	35	40	45	50	60	70
<i>D</i>	3—6	35	40	45	55	60	60	70	80	90
	7	35	45	50	60	70	70	80	90	100
	8	40	50	60	70	70	80	90	100	120

Продолжение табл. 16

Вид сопряжения	Степень точности по нормам плавности	Делительный диаметр $d$ , мм								
		До 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800
С	3-6	55	60	70	80	90	100	110	120	140
	7	60	70	80	90	100	120	140	140	160
	8	70	80	90	100	120	140	140	160	180
	9	70	90	100	120	140	140	140	180	200
В	3-6	90	100	120	140	160	160	180	200	220
	7	100	120	140	140	180	180	200	220	250
	8	100	120	140	160	180	200	220	250	300
	9	120	140	160	180	200	220	250	300	300
	10	120	140	180	180	220	250	250	300	350
	11	140	160	180	200	220	250	300	300	350
А	3-6	140	160	180	200	250	250	300	300	350
	7	150	180	200	220	250	300	350	350	400
	8	160	200	220	250	300	350	350	400	450
	9	180	200	230	300	300	350	350	450	500
	10	200	220	250	300	350	350	450	450	500
	11	200	240	300	350	350	400	450	500	600
	12	220	250	350	350	350	450	500	500	600

17. Нормы бокового зазора цилиндрических зубчатых колес, мм  
( $T_c$  — допуск на толщину зуба)

Вид сопряжения	Вид допуска	Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мм						
		До 8	Св. 8 до 10	Св. 10 до 17	Св. 17 до 16	Св. 16 до 20	Св. 20 до 25	
H, E	h	20	22	25	30	30	35	
D	d	25	30	30	35	40	45	
C	c	35	35	35	45	50	60	
B	b	40	45	50	50	60	70	
A	a	50	60	60	70	70	80	
—	—	70	70	70	80	90	100	
—	y	80	90	100	100	120	140	
—	x	100	120	120	140	140	160	
Вид сопряжения	Вид допуска	Допуск на радиальное биение зубчатого венца $F_r$ , мм						
		Св. 25 до 32	Св. 32 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80	Св. 80 до 100	Св. 100 до 125
H, E	h	40	46	50	70	70	90	120
D	d	50	60	70	70	100	120	140
C	c	70	70	90	100	140	160	180
B	b	70	90	100	140	140	180	220
A	a	100	120	140	140	180	220	250
—	z	140	140	160	180	220	250	350
—	y	140	180	200	250	300	350	400
—	x	180	220	250	300	350	450	500

**7. УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ**

Точность изготовления зубчатых (червячных) колес и червяков, а также зубчатых передач задается степенью точности, а требования к боковому зазору — видом сопряжения по нормам бокового зазора.

Примеры условного обозначения точности цилиндрических передач. Передача со степенью точности 7 по всем трем нормам, с видом сопряжения зубчатых колес *C* и соответствием между видом сопряжения и видом допуска на боковой зазор (вид допуска — *c*), а также между видом сопряжения и классом отклонения межосевого расстояния (класс IV):

7—C CT CЭВ 641—77

Цилиндрическая зубчатая передача со степенью 8 по нормам кинематической точности, степенью 7 по нормам плавности работы, степенью 6 по нормам контакта зубьев, с видом сопряжения колес *B<sub>a</sub>*, видом допуска на боковой зазор *a* и соответствием между видом сопряжения и классом отклонений межосевого расстояния:

8—7—6—Ba CT CЭВ 641—77

Цилиндрическая зубчатая передача со степенью точности 7 по всем нормам, с видом сопряжения *C*, видом допуска *a* и V классом отклонений межосевого расстояния, т. е. грубее соответствующего виду сопряжения *C* (класс IV):

7—Ca/V—128 CT CЭВ 641—77

В этом случае в условном обозначении указывают принятый класс и рассчитанный по формуле уменьшенный гарантированный боковой зазор  $f'_{n \min} = f'_{n \min} - 0,68 (|f'_a| - |f_a|)$ . Так, например, для передачи с межосевым расстоянием  $a_{\text{оп}} = 450$  мм по табл. 9 находим значения гарантированного бокового зазора  $f_{n \min}$  и предельного отклонения межосевого расстояния  $f_a$ , соответствующих IV классу (вид сопряжения *C*), а также параметр  $f'_a$ , соответствующий принятому V классу;  $f_{n \min} = 155$  мкм,  $f_a = 80$  мкм,  $f'_a = 120$  мкм, тогда с округлением  $f'_{n \min} = 128$  мкм.

При принятии более точного класса отклонений межосевого расстояния рассчитанный зазор может не указываться в условном обозначении.

Примеры условных обозначений точности червячных передач. Передача 7-й степени точности по всем трем нормам, с видом сопряжения *C* и видом допуска *c*:

7—C CT CЭВ 311—76

Передача с комбинированием степеней, с видом сопряжения *B* и видом допуска *a*, не соответствующим виду сопряжения:

8—7—6—Ba CT CЭВ 311—76

Примеры условных обозначений конических передач. Передача 7-й степени по всем трем нормам точности, с видом сопряжения *C*:

7—C CT CЭВ 186—75

Передача с комбинированием степеней, с видом сопряжения *B*:  
8—7—6 B CT CЭВ 186—75

Передача 7-й степени точности с гарантированным боковым зазором  $f_{\text{нпн}} = 400$  мкм, не соответствующим ни одному из видов сопряжения:

7—400 CT CЭВ 186—75

В случаях, когда на одну из норм не задается степень точности, вместо соответствующей цифры ставится буква *N*:

8—7—N—B CT CЭВ 641—77

**8. ВЫБОР СТЕПЕНИ ТОЧНОСТИ ПЕРЕДАЧ**

Степень точности колес и передач устанавливают в зависимости от требований к кинематической точности, плавности, передаваемой мощности, а также от величины окружной скорости колес. Например, при окружной скорости прямозубых колес, равной 10—15 м/с, применяют 6-ю — 7-ю степени точности, а при скорости 20—40 м/с уже 4-ю—5-ю степени [20]. Степень точности должна определяться соответствующими расчетами. Например, на основе кинематического расчета погрешностей всей передачи и допустимого угла рассогласования можно найти необходимую степень по нормам кинематической точности; из расчета динамики передачи, уровня вибраций и шума выбирают степень точности по нормам плавности работы; расчет на прочность и долговечность дает возможность выбрать степень точности по нормам контакта.

При выборе степени точности учитывают опыт эксплуатации аналогичных передач и используют принцип комбинирования норм точности, т. е. для конкретной передачи в зависимости от ее назначения устанавливают различные степени точности: по нормам кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев. Комбинирование норм позволяет устанавливать повышенную точность только тех параметров колес, которые важны для удовлетворения эксплуатационных требований; остальные параметры можно выполнять по более грубым допускам. Комбинирование целесообразно как с эксплуатационной, так и с технологической точки зрения. При комбинировании степеней учитывают следующие ограничения: нормы плавности могут быть не более чем на две степени точности или на одну степень грубее нормы кинематической точности, нормы контакта могут называться по степеням более точным, чем нормы плавности. Для цилиндрических зубчатых передач допускается назначать нормы контакта на одну степень грубее норм плавности.

Указанные ограничения вызваны наличием определенной взаимосвязи между показателями точности колес. Так, циклическая погрешность является частью кинематической погрешности, многократно повторяющейся на оборот колеса. Поэтому при сохранении допуска на кинематическую погрешность колеса расширение допуска на циклическую погрешность более чем на одну степень вызывает заметное уменьшение допускаемого значения кинематической погрешности и делает практически невозможным изготовление такого колеса.

При назначении допусков кинематической точности и плавности работы колес по разным степеням точности допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса для цилиндрических зубчатых передач определяют по формуле  $[F_i^*]_{\text{кото}} = [F_i^* - f_i]_F + [f_i^*]_f$ , а для червячных передач — по формуле  $[F_i^*]_{\text{кото}} = [F_i^*]_F + [F_i^* - F_r]_f$ , где допуск, входящий в первое слагаемое, принимается по степени для норм кинематической точности, а допуски, входящие во второе слагаемое, по степени для норм плавности работы. Это связано с тем, что допуск  $F_i^*$  является суммарным и учитывает как кинематическую погрешность, так и погрешность, нарушающую плавность работы.

Степень точности по нормам контакта обычно выбирают совпадающей со степенью по нормам плавности. Например, для тракторов, грузовых автомобилей применяют зубчатые передачи 7-6-6-С, 8-7-7-С; для редукторов турбин — передачи 6-5-5-В, в металлургическом машиностроении — передачи 8-7-7-В. Для силовых передач прокатных станов применяют зубчатые колеса с повышенной точностью по нормам контакта: 8-7-6-В. Для делительных и других отсчетных механизмов степени по нормам кинематической точности и плавности принимают одинаковыми, а иногда кинематическая точность на одну степень точнее плавности, например 4-5-5-D.

## ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### 1. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Соединение втулок, шкивов, муфт, рукояток и других деталей машин с валами может осуществляться призматическими (рис. 1, а), клиновыми или сегментными шпонками. Эти соединения должны передавать заданный крутящий момент; их применяют в случаях, если к точности центрирования соединяемых деталей особых требований не предъявляется.

Размеры, допуски и посадки большинства типов шпонок и пазов для них унифицированы для всех стран — членов СЭВ.

Систему допусков и посадок шпоночных соединений рассмотрим на примере соединений с призматическими шпонками, получившими наибольшее распространение.

Для получения различных посадок призматических шпонок СТ СЭВ 57-73 установил поля допусков на ширину  $b$  шпонок, пазов валов и втулок (рис. 1, б). Шпонки следует изготавливать только с допуском  $h9$ . Это дает возможность изготавливать их централизованно вне зависимости от посадок. Установлены следующие типы шпоночных соединений: 1 — свободное; 2 — нормальное; 3 — плотное. Для первого вида установлены поля допусков для паза на валу  $H9$  и для паза во втулке  $D10$ , что даст посадку с зазором; для второго — соответ-

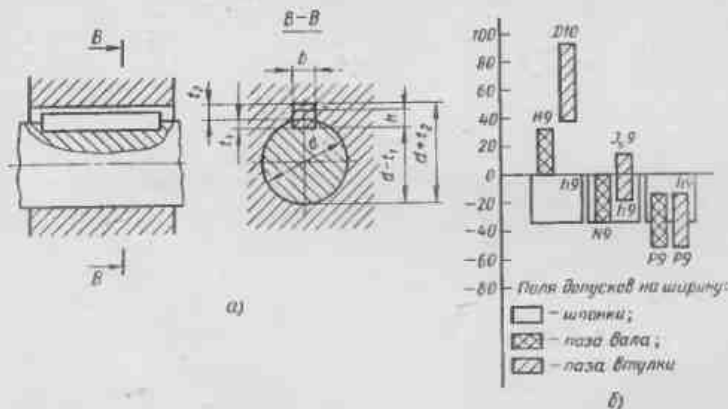


Рис. 1. Размеры (а) и варианты полей допусков (б) призматических шпонок и пазов для них (при  $b = 10$  мм)

венно  $N9$  и  $J_59$ ; для третьего — одинаковые поля для паза на валу и втулке  $P9$ . Для соединений 2 и 3-го вида используются переходные посадки.

Стандартом нормируются отклонения высоты шпонки по  $h11$ , глубины паза на валу  $t_1$  и паза во втулке  $t_2$  или отклонения размеров  $d-t_1$  и  $d+t_2$ , а также размеров длины шпонок по  $h14$  и длины пазов на валу и во втулке по  $H15$ . Предельные отклонения полей  $h9, h14, H9, D10, N9$  и  $J_59, P9$  и  $H15$  см. в СТ СЭВ 144—75.

## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Из-за смятия и среза шпонок, ослабления сечения валов и втулок пазами и образования концентраторов напряжений шпоночные соединения не могут передавать большие крутящие моменты. Вследствие перекосов и смещения пазов, а также контактных деформаций от радиальных сил в шпоночных соединениях возможен перекос втулки на валу.

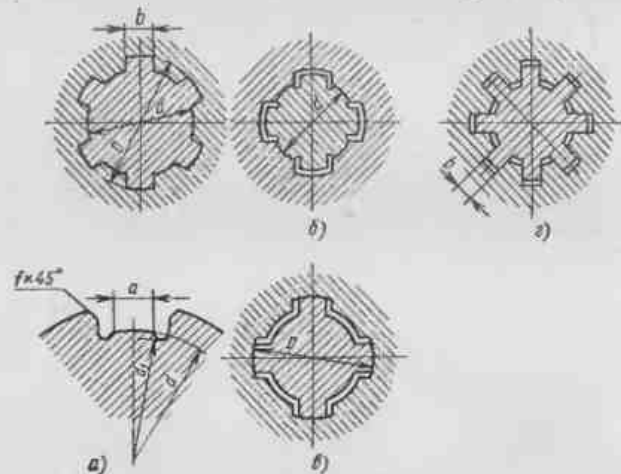


Рис. 2. Шлицевые соединения с прямоугольным профилем

Указанные недостатки ограничивают область применения шпоночных соединений, и они все более вытесняются шлицевыми соединениями, которые передают большие крутящие моменты, имеют большую усталостную прочность и высокую точность центрирования и направления. Это достигается равномерным расположением зубьев (шлицев) по окружности и высокой точностью их размеров, формы и расположения.

В зависимости от профиля зубьев шлицевые соединения делятся на **прямобоочные** (рис. 2), **эвольвентные** (рис. 3) и **треугольные**. Наибольшее распространение получили шлицевые соединения с прямобоочным профилем зуба, имеющие четное число зубьев: 6, 8, 10, 16 или 20. Установлено три градации высот и чисел зубьев для одного и того же диаметра. В соответствии с этим соединения делят на легкую, среднюю и тяжелую серии.

Шлицевые соединения с эвольвентным профилем зуба стандартизованы для модулей  $m$  в пределах от 0,5 до 10 мм, для диаметров  $D$  от 4 до 500 мм и числе зубьев  $z$  от 6 до 82. Угол профиля зуба  $\alpha = 30^\circ$ .

Шлицевые соединения с эвольвентным профилем зубьев по сравнению с прямобоочными обладают существенными преимуществами: они могут передавать большие крутящие моменты, имеют меньшую на 10—

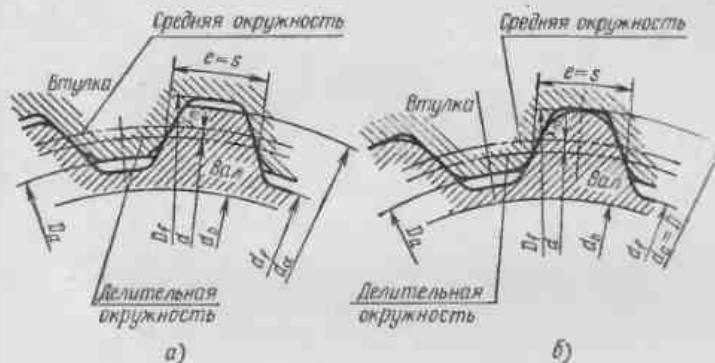


Рис. 3. Профиль зубьев эвольвентных шлицевых соединений (СТ СЭВ 268—76):

*a* — центрирование по боковым поверхностям зубьев; *b* — центрирование по наружному диаметру

40% концентрацию напряжений у основания зубьев, повышенную инклическую прочность и долговечность, обеспечивают лучшее центрирование и направление деталей, проще в изготовлении, так как их можно фрезеровать методом обкатки, и т. п.

Выбор типа шлицевых соединений связан с их конструктивными и технологическими особенностями. При центрировании по боковым поверхностям зубьев, передаче значительных крутящих моментов, а также реверсивном движении целесообразнее применять соединения с эвольвентным профилем.

## 3. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПРЯМОБООЧНЫМ ПРОФИЛЕМ ЗУБЬЕВ

Допуски и посадки шлицевых соединений определяются их назначением и принятой системой центрирования втулки относительно вала. Существуют три способа центрирования: по поверхностям диаметрами  $d$  (рис. 2, б) или  $D$  (рис. 2, в) и по боковым поверхностям зубьев размером  $b$  (рис. 2, а).

В шлицевых соединениях механизмов, к которым предъявляются высокие требования по кинематической точности, применяют центрирование по  $d$  или  $D$ .

Центрирование по  $d$  целесообразно в тех случаях, когда втулка имеет высокую твердость и ее нельзя обработать чистой протяжкой

(тогда отверстие шлифуют на обычном внутришлифовальном станке) или когда могут возникнуть значительные искривления длинных валов после термической обработки. Шлицевой участок вала при таком центрировании необходимо изготавливать с опорной площадкой  $a$  (см. рис. 2, а) \* и окончательно обрабатывать на шлицшлифовальном станке. Способ обеспечивает точное центрирование, его применяют обычно для подвижных соединений.

**Центрирование по D** рекомендуется, когда втулку термически не обрабатывают или когда твердость ее материала после термообработки допускает калибровку протяжкой, а вал — фрезерование до получения окончательных размеров зубьев. При этом вал по наружному диаметру шлифуют на обычном круглошлифовальном станке. Такой способ центрирования прост, экономичен. Его применяют для неподвижных соединений, поскольку в них отсутствует износ от осевых перемещений, а также для подвижных, воспринимающих небольшие нагрузки.

**Центрирование по боковым поверхностям зубьев размером b** целесообразно при передаче знакопеременных нагрузок, больших крутящих моментов, а также при реверсивном движении. Этот метод способствует более равномерному распределению нагрузки между зубьями, но не обеспечивает высокой точности центрирования и поэтому его применяют редко.

**Посадки шлицевых соединений с прямым профилем** (по СТ СЭВ 187—75) строятся по системе отверстия. Они осуществляются по центрирующей цилиндрической поверхности и одновременно по боковым поверхностям впадин втулки и зубьев вала (т. е. по  $d$  и  $b$  или по  $D$  и  $b$ ) или только по  $b$ . Отклонения размеров отверстия и вала отсчитывают от номинальных размеров  $d$ ,  $D$  и  $b$ . Рекомендуемые посадки приведены в табл. 1—3. Посадки, указанные в скобках, по возможности не применять.

Погрешности формы и расположения шлицев отдельно не нормируются; их допустимость проверяют комплексными калибрами. Погрешности диаметров шлицевых деталей, толщины зубьев и ширины пазов, а также погрешности формы и расположения элементов шлицевых деталей влияют на собираемость, точность и долговечность соединения. Основные отклонения и поля допусков для размеров  $d$ ,  $D$  и  $b$  взяты из СТ СЭВ 145—75. СТ СЭВ 187—75 рекомендует посадки в зависимости от способа центрирования с выделением из них предпочтительных.

При высоких требованиях к точности центрирования стремятся получить наименьшие зазоры по центрирующим диаметрам; это также увеличивает долговечность соединений.

Если основным требованием к соединению является высокая прочность (особенно при переменных нагрузках и реверсивном движении), а точность центрирования втулки не имеет существенного значения, то предусматривают возможно меньшие зазоры между боковыми поверхностями зубьев и впадин.

**Для нецентрирующих диаметров** устанавливаются следующие поля допусков: для  $D$  при центрировании по  $d$  или  $b$   $a11$  — для вала и  $H12$  — для втулки; для  $d$  при центрировании по  $D$  или  $b$   $H11$  для втулки;  $d$  вала не должен быть менее диаметра  $d_1$  по СТ СЭВ 188—75.

\* Площадка  $a$  нужна также и у вала, зубьям ка котором получает метод обкатывания.

1. Посадки центрирующего диаметра  $d$

Поле допуска втулки	Основное отклонение вала					
	$e$	$f$	$g$	$h$	$i_s$	$n$
<i>Центрирование по внутреннему диаметру d</i>						
H6			H6/g5		H6/i5	
H7	H7/e8	H7/f7	H7/g6	H7/h6, H7/h7	H7/i6, H7/i7	H7/n6
H8	H8/e8, (H8/e9)					
<i>Центрирование по наружному диаметру D</i>						
H7		H7/f7	H7/g6	H7/h6	H7/i6	H7/n6
H8	H8/e8			H8/h7		

2. Посадки по ширине  $b$

Поле допуска втулки	Основное отклонение вала					
	$d$	$e$	$f$	$h$	$i_s$	$k$
<i>Центрирование по внутреннему диаметру d</i>						
F8	F8/d8		F8/f7, F8/f8	F8/h7, F8/h8, F8/h9	F8/i7	
H8				H8/a7, H8/a8, (H8/a9)	H8/i7	
D9	D9/d9	I9/e8	D9/f7, D9/f8, D9/f9	D9/h6, D9/h9	D9/i7	D9/k7
D10	D10/d9					
F10	F10/d9	F10/e8	F10/f7, F10/f8, F10/f9	F10/h7, F10/h8, F10/h9	F10/i7	F10/k7
J_s10	J_s10/d10					



Приложение табл. 1

Поле допуска втулки	Основное отклонение вала					
	d	e	f	g	h	k
Центрирование по наружному диаметру D						
F8	$\left(\frac{F8}{d9}\right)$	$\frac{F8}{e8}$	$\frac{F8}{f7}$ , $\frac{F8}{f8}$	$\frac{F8}{g6}$ , $\frac{F8}{g8}$	$\frac{F8}{h7}$	—
D9	$\frac{D9}{d9}$	$\frac{D9}{e8}$	$\frac{D9}{f7}$	$\frac{D9}{g6}$ , $\frac{D9}{g8}$	$\frac{D9}{h7}$	—
F10		$\frac{F10}{e9}$	$\frac{F10}{f7}$	$\frac{F10}{g9}$	$\frac{F10}{h9}$	—
J <sub>s</sub> 10	$\frac{J_s 10}{d10}$					—

3. Посадки по ширине b при центрировании по боковым сторонам зубьев

Поля допуска втулки	Основное отклонение вала					
	d	e	f	h	js	k
F8		$\frac{F8}{f8}$	$\frac{F8}{f8}$		$\frac{F8}{js7}$	
D9	$\frac{D9}{d9}$	$\frac{D9}{e8}$	$\frac{D9}{f8}$ , $\frac{D9}{f9}$	$\frac{D9}{h8}$ , $\frac{D9}{h9}$	$\frac{D9}{js7}$	$\frac{D9}{k7}$
D10	$\frac{D10}{d10}$ , $\frac{D10}{d8}$			$\left(\frac{D10}{h10}\right)$		
F10	$\frac{F10}{d9}$	$\frac{F10}{e8}$	$\frac{F10}{f8}$ , $\frac{F10}{f9}$	$\frac{F10}{h8}$ , $\frac{F10}{h9}$	$\frac{F10}{js7}$	$\frac{F10}{k7}$
J <sub>s</sub> 10	$\frac{J_s 10}{d9}$					

При указанных полях допусков нецентрирующих диаметров создаются значительные зазоры, обеспечивающие сопряжения только по посадочным поверхностям и облегчающие сборку шлицевых соединений.

Схема расположения полей допусков шлицевых соединений с прямым профилем приведена на рис. 4.

Обозначения шлицевых соединений валов и втулок должны содержать букву, обозначающую поверхность центрирования, число зубьев

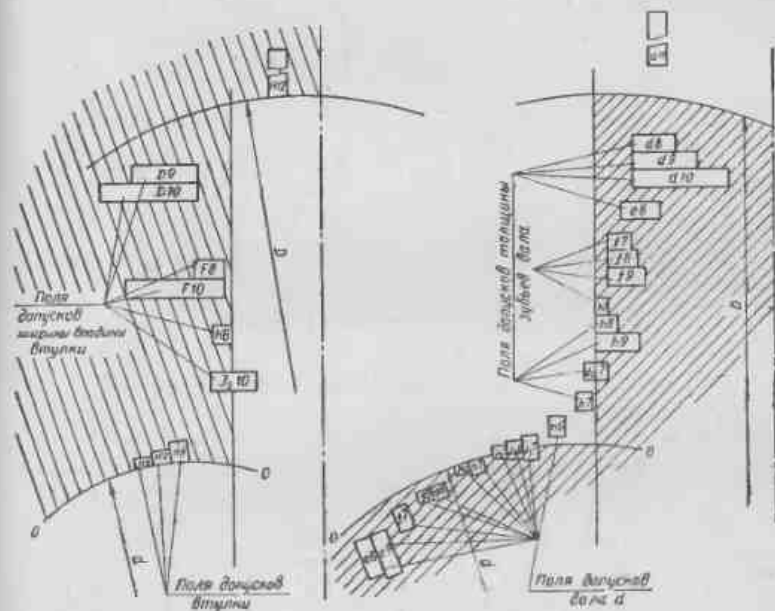


Рис. 4. Схема расположения полей допусков шлицевых соединений с прямым профилем

и номинальные размеры d, D и b соединения, вала и втулки, обозначения полей допусков или посадок диаметров, а также размера b, помещенные после соответствующих размеров.

Пример условного обозначения соединения с числом зубьев z = 8, внутренним диаметром d = 36 мм, наружным диаметром D = 40 мм, шириной зуба b = 7 мм, с центрированием по внутреннему диаметру, с посадкой по диаметру центрирования  $\frac{H7}{e8}$

и по размеру b  $\frac{D9}{f8}$ :

$$d - 8 \times 36 \frac{H7}{e8} \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{f8};$$

то же, при центрировании по наружному диаметру с посадкой по диаметру центрирования  $\frac{H8}{h7}$  и по размеру  $b \frac{F10}{h9}$ :

$$D - 8 \times 36 \times 40 \frac{H8}{h7} \times 7 \frac{F10}{h9};$$

то же, при центрировании по боковым сторонам:

$$b - 8 \times 36 \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{h8}.$$

Допускается не указывать в обозначении допуски нецентрирующих диаметров.

Пример условного обозначения втулки того же соединения при центрировании по внутреннему диаметру:

$$d - 8 \times 36H7 \times 40H12 \times 7D9.$$

Пример условного обозначения вала того же соединения:

$$d - 8 \times 36e8 \times 40a11 \times 7f8.$$

#### 4. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ЭВОЛЬВЕНТНЫМ ПРОФИЛЕМ ЗУБЬЕВ

В эвольвентных шлицевых соединениях (см. рис. 3) втулку относительно вала центрируют по боковым поверхностям зубьев или по наружному диаметру. Центрирование по внутреннему диаметру не рекомендуется из-за малых размеров опорных площадок во впадинах зубьев, допуски и посадки при таком центрировании приведены в приложении к СТ СЭВ 259—76. Наибольшее распространение получил способ центрирования по боковым поверхностям зубьев, который обеспечивает высокую точность центрирования.

**Допуски и посадки при центрировании по боковым поверхностям зубьев.** Установлены два вида допусков размера ширины  $e$  впадины втулки и толщины  $s$  зуба вала (рис. 5):  $T_s$  ( $T_d$ ) — допуск собственно ширины впадины втулки (толщины зуба вала), контролируемый отдельно в случаях, когда не применяется комплексный калибр, эти допуски указывают на рабочих чертежах деталей;  $T$  — суммарный допуск, включающий отклонение размера собственно ширины впадины (толщины зуба), а также отклонения формы и расположения элементов профиля впадины (зуба), контролируемый калибром. Отклонения размеров  $e$  и  $s$  отсчитывают от их общего номинального размера по дуге делительной окружности.

Для ширины  $e$  впадины втулки установлено одно основное отклонение  $H$  и 7-, 9- и 11-я степени точности; для толщины  $s$  зуба вала установлены 10 основных отклонений:  $a, c, d, f, g, h, k, n, p, r$  (рис. 5, б) и 7, 8, 9, 10 и 11-я степени точности.

Посадки по боковым поверхностям зубьев предусмотрены только в системе отверстия.

Предельные отклонения размеров  $e$  для втулок приведены в табл. 4, размера  $s$  для валов — в табл. 5. Допуски ширины  $e$  впадины втулки, толщины  $s$  зуба вала и предельные значения радиального биения  $F_r$  зубчатого венца относительно центрирующих диаметров приведены в табл. 6.

**Допуски и посадки при центрировании по наружному диаметру.** Установлены следующие два ряда полей допусков для центрирующих

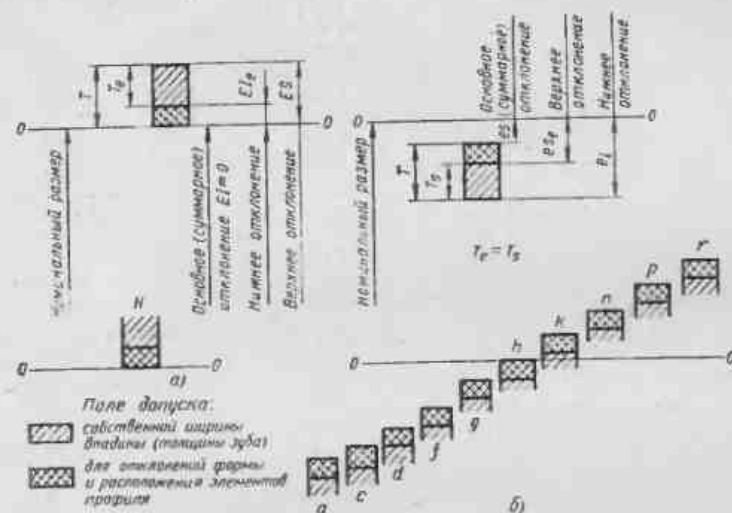


Рис. 5. Расположение полей допусков:

а — ширины  $e$  впадины втулки; б — толщины  $s$  зуба вала в эвольвентных соединениях

диаметров окружности впадин втулки  $D_f$  и окружности вершин зубьев вала  $d_a$ :

ряд 1 — H7 для  $D_f$  и  $n6, j_5b, h6, g6, f7$  для  $d_a$ ;

ряд 2 — H8 для  $D_f$  и  $n6, h6, g6, f7$  для  $d_a$ .

Первый ряд следует предпочитать второму. Значение основных отклонений и полей допусков — по СТ СЭВ 145—75 и 144—75. При этом центрирование полей допусков ширины  $e$  впадины втулки должны соответствовать 9H или 11H, а толщина  $s$  зуба вала — 9h, 9g, 9d, 11c или 11a (табл. 2 и 3 СТ СЭВ 259—76).

**Допуски нецентрирующих диаметров** при центрировании по боковым поверхностям зубьев принимают такими, чтобы в соединении исключить контакт по этим диаметрам. Для этого необходимо: изготовлять  $D_f$  по H16 при плоской форме дна впадины и обеспечить  $D_{f \text{ min}} = D$  при закругленной форме дна впадины ( $D$  — номинальный диаметр соединения); диаметр окружности вершин зубьев втулки  $D_a$  (рис. 5) изготовлять по H11,  $d_a$  по d9 или h12; диаметр окружности впадин

4. Предельные отклонения размера  $s$  для шпонок

Поле допуска	Модуль, мм	Обозначение	Диаметр делительной окружности, мм				
			До 12	Св. 12 до 25	Св. 25 до 50	Св. 50 до 100	Св. 100 до 200
			Предельные отклонения, мкм				
7H	От 0,5 до 1,5	ES EI <sub>e</sub> EI	+25 +9 0	+28 +10 0	+32 +12 0	+36 +14 0	+40 +15 0
	От 2 до 4	ES EI <sub>e</sub> EI	— — —	+32 +12 0	+36 +14 0	+40 +15 0	+45 +17 0
	От 5 до 10	ES EI <sub>e</sub> EI	— — —	— — —	+40 +15 0	+45 +17 0	+50 +18 0
9H	От 0,5 до 1,5	ES EI <sub>e</sub> EI	+50 +18 0	+56 +20 0	+63 +23 0	+71 +26 0	+80 +30 0
	От 2 до 4	ES EI <sub>e</sub> EI	— — —	+63 +23 0	+71 +26 0	+80 +30 0	+90 +34 0
	От 5 до 10	ES EI <sub>e</sub> EI	— — —	— — —	+80 +30 0	+90 +34 0	+100 +37 0
11H	От 0,5 до 1,5	ES EI <sub>e</sub> EI	+100 +37 0	+112 +41 0	+125 +45 0	+140 +50 0	+160 +60 0
	От 2 до 4	ES EI <sub>e</sub> EI	— — —	+125 +45 0	+140 +50 0	+160 +60 0	+180 +68 0
	От 5 до 10	ES EI <sub>e</sub> EI	— — —	— — —	+160 +60 0	+180 +68 0	+200 +75 0

5. Предельные отклонения размера  $s$  для валов

Поле допуска	Модуль, мм	Обозначение	Диаметр делительной окружности, мм				
			До 12	Св. 12 до 25	Св. 25 до 50	Св. 50 до 100	Св. 100 до 200
			Предельные отклонения, мкм				
9r	От 0,5 до 1,5	es es <sub>e</sub> ei	+64 +46 +14	+72 +52 +16	+80 +57 +17	+88 +62 +17	+100 +70 +20
	От 2 до 4	es es <sub>e</sub> ei	— — —	+80 +57 +17	+88 +62 +17	+100 +70 +20	+112 +78 +22
	От 5 до 10	es es <sub>e</sub> ei	— — —	— — —	+100 +70 +20	+112 +78 +22	+128 +91 +28
8r	От 0,5 до 1,5	es es <sub>e</sub> ei	+48 +34 +12	+54 +39 +14	+60 +43 +15	+66 +48 +16	+75 +55 +19
	От 2 до 4	es es <sub>e</sub> ei	— — —	+60 +43 +15	+66 +48 +16	+75 +55 +19	+84 +61 +21
	От 5 до 10	es es <sub>e</sub> ei	— — —	— — —	+75 +55 +19	+84 +61 +21	+96 +70 +25
7h	От 0,5 до 1,5	es es <sub>e</sub> ei	+32 +23 +7	+36 +26 +8	+40 +28 +6	+44 +30 +8	+50 +35 +10
	От 2 до 4	es es <sub>e</sub> ei	— — —	+40 +28 +8	+44 +30 +6	+50 +35 +10	+56 +39 +11
	От 5 до 10	es es <sub>e</sub> ei	— — —	— — —	+50 +35 +10	+56 +38 +11	+64 +46 +14

Продолжение табл. 5

Поле допуска	Модуль, мм	Обозначение	Диаметр делительной окружности, мм				
			До 12	Св. 12 до 25	Св. 25 до 50	Св. 50 до 100	Св. 100 до 200
			Предельные отклонения, мкм				
8a	От 0,5 до 1,5	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	+16 +2 -20	+18 +3 -22	+20 +3 -25	+22 +4 -28	+25 +5 -31
	От 2 до 4	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	— — —	+20 +3 -25	+22 +4 -28	+25 +5 -31	+28 +5 -35
	От 5 до 10	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	— — —	— — —	+25 +5 -31	+28 +5 -35	+32 +6 -39
7h	От 0,5 до 1,5	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	0 -9 -25	0 -10 -28	0 -12 -32	0 -14 -36	0 -15 -40
	От 2 до 4	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	— — —	0 -12 -32	0 -14 -36	0 -15 -40	0 -17 -45
	От 5 до 10	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	— — —	— — —	0 -15 -40	0 -17 -45	0 -18 -50
5a	От 0,5 до 1,5	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	0 -18 -50	0 -20 -56	0 -23 -63	0 -26 -71	0 -30 -80
	От 2 до 4	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	— — —	0 -23 -63	0 -26 -71	0 -30 -80	0 -34 -90
	От 5 до 10	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	— — —	— — —	0 -30 -80	0 -34 -90	0 -37 -100

Продолжение табл. 5

Поле допуска	Модуль, мм	Обозначение	Диаметр делительной окружности, мм				
			До 12	Св. 12 до 25	Св. 25 до 50	Св. 50 до 100	Св. 100 до 200
			Предельные отклонения, мкм				
9g	От 0,5 до 1,5	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	-8 -26 -58	-9 -29 -65	-10 -33 -73	-11 -37 -82	-12 -42 -92
	От 2 до 4	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	— — —	-10 -33 -73	-11 -37 -82	-12 -42 -92	-14 -48 -104
	От 5 до 10	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	— — —	— — —	-12 -42 -92	-14 -48 -104	-16 -53 -116
7i	От 0,5 до 1,5	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	-16 -24 -41	-18 -28 -46	-20 -32 -52	-22 -36 -58	-25 -40 -65
	От 2 до 4	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	— — —	-20 -32 -52	-22 -36 -52	-25 -40 -65	-28 -45 -73
	От 5 до 10	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	— — —	— — —	-25 -40 -65	-28 -45 -73	-32 -50 -82
8f	От 0,5 до 1,5	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	-16 -30 -32	-18 -33 -58	-20 -37 -65	-22 -40 -72	-25 -45 -81
	От 2 до 4	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	— — —	-20 -37 -65	-22 -40 -72	-25 -45 -81	-28 -51 -91
	От 5 до 10	$e_s$ $e_{sE}$ $e_i$	— — —	— — —	-25 -45 -81	-28 -51 -91	-32 -58 -103

б. Допуски ширины  $e$  впадины втулки, толщины  $z$  зуба вала и рекомендуемые предельные значения радиального биения

Степень точности	Модуль, мм	Обозначение	Диаметр делительной окружности, мм				
			До 12	Св. 12 до 25	Св. 25 до 50	Св. 50 до 100	Св. 100 до 200
			Допуски и предельные значения радиального биения, мкм				
5	От 0,5 до 1,5	$T$ $T_e$ $F_r$	12 8 6	14 9 7	16 10 8	18 11 9	20 12 10
	От 2 до 4	$T$ $T_e$ $F_r$	— — —	16 10 8	18 11 9	20 12 10	22 14 11
	От 5 до 10	$T$ $T_e$ $F_r$	— — —	— — —	20 12 10	22 14 11	25 16 12
6	От 0,5 до 1,5	$T$ $T_e$ $F_r$	18 11 9	20 12 10	22 14 11	25 16 12	28 18 14
	От 2 до 4	$T$ $T_e$ $F_r$	— — —	22 14 11	25 16 12	28 18 14	32 20 16
	От 5 до 10	$T$ $T_e$ $F_r$	— — —	— — —	23 18 14	32 20 16	36 22 18
7	От 0,5 до 1,5	$T$ $T_e$ $F_r$	25 16 12	28 18 14	32 20 16	36 22 18	40 25 20
	От 2 до 4	$T$ $T_e$ $F_r$	— — —	32 20 16	36 22 18	40 25 20	45 28 22
	От 5 до 10	$T$ $T_e$ $F_r$	— — —	— — —	40 25 20	45 28 22	50 32 25

Продолжение табл. 6

Степень точности	Модуль, мм	Обозначение	Диаметр делительной окружности, мм				
			До 12	Св. 12 до 25	Св. 25 до 50	Св. 50 до 100	Св. 100 до 200
			Допуски и предельные значения радиального биения, мкм				
8	От 0,5 до 1,5	$T$ $T_e$ $F_r$	36 22 18	40 25 20	45 28 22	50 32 25	56 36 28
	От 2 до 4	$T$ $T_e$ $F_r$	— — —	45 28 22	50 32 25	56 36 28	63 40 32
	От 5 до 10	$T$ $T_e$ $F_r$	— — —	— — —	56 36 28	63 40 32	71 45 36
9	От 0,5 до 1,5	$T$ $T_e$ $F_r$	50 32 25	56 36 28	63 40 32	71 45 36	80 50 40
	От 2 до 4	$T$ $T_e$ $F_r$	— — —	63 40 32	71 45 36	80 50 40	90 56 45
	От 5 до 10	$T$ $T_e$ $F_r$	— — —	— — —	90 50 40	90 56 45	100 63 50
10	От 0,5 до 1,5	$T$ $T_e$ $F_r$	71 45 36	80 50 40	90 56 45	100 63 50	112 71 56
	От 2 до 4	$T$ $T_e$ $F_r$	— — —	90 56 45	100 63 50	112 71 56	125 80 63
	От 5 до 10	$T$ $T_e$ $F_r$	— — —	— — —	112 71 56	125 80 63	140 90 71

Примечание. СТ СЭВ 259-76 предусматривает 11-ю степень точности.

вала  $d_f$  — по  $h16$  при плоской форме дна впадины и обеспечить  $d_{f \max} = D - 2,2m$  при закругленной форме дна впадины. При центрировании по наружному диаметру принимают для  $D_0 - H11$ , для  $d_f - h16$  при плоской форме дна впадины и обеспечить  $d_{f \max} = D - 2,2m$ .

Обозначения шлицевых соединений, валов и втулок должны содержать номинальный диаметр соединения  $D$ ; модуль  $m$ ; обозначение посадки соединения (полей допусков вала и отверстия), помещаемое после размеров центрирующих элементов, и номер стандарта.

Примеры условных обозначений:

а) соединение  $D = 50$  мм,  $m = 2$  мм с центрированием по боковым сторонам зубьев, с посадкой по боковым поверхностям зубьев  $9H/9g$ :

$50 \times 2 \times 9H/9g$  СТ СЭВ 259—76

Втулка того же соединения:

$50 \times 2 \times 9H$  СТ СЭВ 259—76

Вал того же соединения:

$50 \times 2 \times 9g$  СТ СЭВ 259—76

б) соединение  $D = 50$  мм,  $m = 2$  мм с центрированием по  $D_f$  с посадкой по диаметру центрирования  $H7/g6$ :

$50 \times H7/g6 \times 2$  СТ СЭВ 259—76

Втулка того же соединения:

$50 \times H7 \times 2$  СТ СЭВ 259—76

Вал того же соединения:

$50 \times g6 \times 2$  СТ СЭВ 259—76.

## КОНТРОЛЬ В МАШИНОСТРОЕНИИ

### Глава 12



## ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ФОРМЫ КОНТРОЛЯ

### 1. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА ПРЕДПРИЯТИЯ

Государственный надзор за метрологическим обеспечением производных работ, разработкой, производством, состоянием, применением и ремонтом средств измерений, соблюдением метрологических правил, требований и норм, а также за работой метрологической службы предприятия осуществляет Госстандарт СССР и его территориальные органы (ГОСТ 1.25—76).

Основные направления развития работ по метрологическому обеспечению разработки, производства, испытаний и эксплуатации продукции на предприятиях и организациях определяет метрологическая служба министерства или ведомства.

Метрологическая служба предприятия является основным звеном ведомственной метрологической службы, которое представляет собой самостоятельное структурное подразделение, возглавляемое главным метрологом предприятия.

Основными задачами метрологической службы предприятия являются:

обеспечение единства и требуемой точности измерений, повышение уровня и совершенствование техники измерений, испытаний и контроля на предприятии;

проведение работ по подготовке и совершенствованию метрологического обеспечения во всех областях деятельности предприятия;

определение оптимальной номенклатуры и планомерное внедрение средств и методик выполнения измерений, испытаний и контроля, отвечающих современным требованиям науки и производства и обеспечивающих:

повышение эффективности научных исследований, проектных конструкторских и экспериментальных работ;

поддержание заданных режимов технологических процессов;

объективный контроль качества продукции и повышение производительности труда;

контроль соблюдения безопасных условий труда;

точный учет и рациональное использование материальных и энергетических ресурсов.

Для осуществления комплекса работ по метрологическому обеспечению производства на промышленных предприятиях создаются отделы главного метролога.

В отдел главного метролога могут входить следующие подразделения:

комплексные (или по видам измерений) метрологические лаборатории;

бюро подготовки метрологического обеспечения;

лаборатория (бюро) организации метрологического обеспечения.

На некоторых промышленных предприятиях допускается создание центральной лаборатории по измерительной технике (ЦЛИТ), при этом два последних звена отдела главного метролога объединяются в одно — лабораторию по видам измерения.

Бюро подготовки (БП) метрологического обеспечения может включать группу учета средств измерений (СИ), группу хранения и выдачи СИ, группу комплектации СИ, группу внешних связей.

Бюро подготовки метрологического обеспечения осуществляет: проведение систематического анализа состояния метрологического обеспечения производства, НИР и ОКР и разработку на его основе предложений к плану организационно-технических мероприятий по совершенствованию метрологического обеспечения, определение совместно с другими службами и подразделениями технико-экономической эффективности предлагаемых мероприятий и представление на утверждение руководству для включения в производственный план предприятия;

разработку и согласование стандартов и другой научно-технической документации (НТД) предприятия по вопросам метрологии, разработку методик выполнения измерений, контроля и испытаний и в необходимых случаях подготовку заданий на их разработку в других организациях;

участие в работах, связанных с автоматизацией измерений и поверки средств измерений;

организацию и проведение ремонта средств измерений, принадлежащих предприятию;

организацию работы бюро измерительных приборов (БИП), прокатного и обменного фонда средств измерений;

внедрение государственных и отраслевых стандартов, стандартов предприятия и других нормативных документов, регламентирующих нормы точности измерений, метрологические характеристики средств измерений, методики выполнения измерений, методы и средства поверки, требования к метрологическому обеспечению подготовки производства и др.;

прокат и обмен средств измерений для нужд подразделений предприятия;

систематизацию и анализ заявок подразделений предприятия на средства измерений, связь с органами снабжения и сбыта по вопросу приобретения средств измерений, запасных частей и материалов для их ремонта и эксплуатации;

организацию работы по повышению квалификации работников предприятия, связанных с выполнением измерений;

представление в базовую организацию и территориальные органы Госстандарта СССР сведений о деятельности метрологической службы предприятия и о состоянии выполнения планов внедрения новой измерительной техники.

Лаборатория организации метрологического обеспечения включает в себя группу планирования и технико-экономического обеспечения, группу разработки и внедрения НТД, группу координации работ по метрологическому обеспечению, группу разработки и внедрения математических методов обработки измерительной информации. В обязанности этой лаборатории входят следующие функции:

участие в разработке, внедрении и совершенствовании организационных систем метрологического обеспечения и обслуживания, автоматизированных систем управления (АСУ), в том числе в области организации труда и заработной платы метрологических подразделений;

разработка и согласование общей НТД по вопросам метрологического обеспечения;

разработка и внедрение методов поверки и испытаний средств измерений, в том числе узкоспециальных; организация всех видов поверки; совершенствование методов поверки;

участие в работе по подготовке к аттестации продукции, выпускаемой предприятием;

контроль за метрологическим обеспечением всей производственной деятельности предприятия, состоянием и применением средств измерений, испытаний в контроле, наличием и правильностью применения методик выполнения измерений и соблюдением установленных метрологических правил во всех подразделениях предприятия; контроль за выполнением всеми службами и подразделениями предприятия планов организационно-технических мероприятий по метрологическому обеспечению их деятельности и планов внедрения новой измерительной техники;

обеспечение хранения и сличения в установленном порядке рабочих эталонов (при наличии разрешения Госстандарта СССР на их применение), поддержание в надлежащем состоянии образцов средств измерений; проведение ведомственной поверки средств измерений в пределах прав, предоставленных территориальными органами Госстандарта СССР;

разработка и внедрение локальных поверочных схем по видам измерений и согласование их с территориальными органами Госстандарта СССР; установление периодичности поверки средств измерений, принадлежащих предприятию; составление графиков ведомственной поверки и контроль за их исполнением; согласование с территориальными органами Госстандарта СССР графиков поверки средств измерений, подлежащих обязательной государственной поверке, и обеспечение своевременного представления их на государственную поверку;

выполнение измерений, связанных с разрешением разногласий между подразделениями предприятий, а также высокоточных измерений, при которых требуется применять уникальные средства измерений, отсутствующие в подразделениях; при отсутствии необходимых средств измерений — организация выполнения измерений через базовую организацию.

Лаборатории по видам измерений включают в себя группы поверки и метрологического контроля, группы ремонта и наладки, группы разработки нестандартизуемых СИ и автоматизации поверок, группы разработки методик измерений и метрологической экспертизы. Эти лаборатории осуществляют:

разработку технических заданий на проектирование и изготовление средств измерений другими предприятиями и организациями;

разработку средств и методик выполнения измерений, необходимых для проведения научно-исследовательских и экспериментальных работ и испытаний разрабатываемых организацией изделий, а также средств и методик выполнения измерений, являющихся составной частью разработок, выполняемых организацией;

участие в разработках, связанных с автоматизацией измерений и проверки средств измерений;

участие в государственных испытаниях средств измерений, проводимых на базе организации;

участие в испытаниях опытных образцов изделий, разработанных в организации, проведение метрологической аттестации опытных образцов изделий, для которых нормируются точностные характеристики.

## 2. НОРМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений установлены ГОСТ 8.050—73. Стандарт распространяется на линейные размеры от 1 до 500 мм и на угловые размеры с длиной меньшей стороны до 500 мм.

Нормальные условия измерений должны соблюдаться для практического исключения дополнительных погрешностей. Стандартом приняты следующие нормальные значения основных влияющих величин:

температура окружающей среды 20°С;  
атмосферное давление 101324,72 Па (760 мм рт. ст.);  
относительная влажность окружающего воздуха 58% (нормальное парциальное давление водяных паров 1333,22 Па);

ускорение свободного падения 9,8 м/с<sup>2</sup>;  
направление линии измерения линейных размеров до 160 мм у наружных поверхностей — вертикальное, в остальных случаях — горизонтальное;

положение плоскости измерения углов — горизонтальное;  
относительная скорость движения внешней среды равна нулю;  
значения внешних сил должны быть равны нулю.

В зависимости от допусков и диапазона измеряемых размеров пределы нормальной области влияющих величин должны соответствовать ГОСТ 8.050—73. Нормальной областью значений влияющих величин при линейных измерениях является область, при обеспечении которой выход действительного значения инструментальной погрешности (погрешности средства измерения)  $\Delta_{ин.л}$  за предел допускаемой основной погрешности средства измерения не превышает значений, указанных в ГОСТ 8.050—73.

При допусках на размер изделия, не соответствующих ГОСТ 8.050—73, допускаемые значения  $\Delta_{ин.л}$  и  $\Delta_{ин.у}$  выбирают по ближайшему меньшему значению допуска для соответствующего диапазона размеров.

При выходе влияющих величин в процессе измерения за пределы нормальной области значений и невозможности (нецелесообразности) приведения результата измерения к нормальным условиям действительные значения влияющих величин фиксируются. Поддержание нормаль-

ных условий в рабочем пространстве должно обеспечиваться в течение всего процесса измерения.

ГОСТ 8.050—73 нормирует пределы допускаемых отклонений от нормального направления линии измерения и нормированных параметров ориентации средств и объектов измерений. Стандартом нормируются пределы допускаемого отклонения температуры объекта измерения и рабочего пространства в процессе измерения от нормального значения (табл. 1).

### 1. Пределы допускаемого отклонения температуры при измерениях

Интервал размеров, мм	Допускаемое отклонение температуры от нормальной, °С, для классов				
	01	0	От 1 до 5	От 6 до 8	От 9 до 10
Св. 1 до 18	±0,8	±1,0	±1,5	±3	±4
Св. 18 до 50	±0,3	±0,5	±1,0	±2	±3
≥ 50 ≥ 500	±0,2	±0,3	±0,5	±1	±2

В процессе линейных измерений пределы допускаемой нестационарной составляющей разности температур в любых двух точках и изменения температуры в любой точке рабочего пространства и находящихся в нем поверхностей объекта и средств измерений должны соответствовать указанным в табл. 2.

### 2. Температура (в °С) в рабочем пространстве при линейных измерениях

Допускаемые отклонения температуры от нормальной (±)	Допускаемые изменения температуры за		Допускаемая разность температур в двух точках
	0,5 ч	12 ч	
0,1 *	0,02 *	0,1 *	0,02 *
0,2	0,05 *	0,2	0,05 *
0,3	0,1 *	0,2	0,1 *
0,5	0,1 *	0,5	0,2
0,8	0,1 *	0,5	0,2
1,0	0,1 *	0,5	0,2
1,5	0,2	1,0	0,2
2,0	0,2	2,0	0,2
3,0	0,5	3,0	0,5
4,0	0,5	3,0	0,5

Примечание. Нормы, указанные в табл. 2, распространяются на условия сравнения мер и объектов измерения с разностью коэффициентов линейного расширения не более  $7 \cdot 10^{-4} \text{K}^{-1}$  при общей массе средств и объектов измерения не более 500 кг.

\* Обеспечивается при расположении оператора вне рабочего пространства



В рабочем пространстве допускаются только плавные изменения температуры со скоростью не более  $0,1^\circ\text{C}/\text{мин}$ . Отдельные колебания с периодом менее 0,5 мин не учитываются.

При угловых измерениях пределы допускаемого отклонения температуры объекта измерения и рабочего пространства от нормального значения  $\pm 3,5^\circ\text{C}$ . Пределы допускаемой в процессе измерения нестационарной составляющей разности температур в любых двух точках и изменения температуры в любой точке рабочего пространства и находящихся в нем поверхностей объекта и средств измерений должны соответствовать указанным в табл. 3.

В рабочем пространстве допускаются только плавные изменения температуры со скоростью не более  $0,2^\circ\text{C}/\text{мин}$ . Отдельные импульсы продолжительностью менее 0,5 мин не учитываются.

### 8. Температура в рабочем пространстве при угловых измерениях

Допускаемая погрешность измерения	Допускаемые изменения температуры, $^\circ\text{C}$ за		Допускаемая разность температур в двух точках, $^\circ\text{C}$
	1 ч	12 ч	
$< 0,2''$	0,2	1	0,5
Св. 0,2 до $5''$	0,5	2	1
$> 5''$ до $10''$	1,0	3	2

### 3. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

**Меры** — средства измерений, предназначенные для воспроизведения физической величины заданного размера. К мерам относят плоскопараллельные концевые меры длины, гири, конденсаторы постоянной емкости и т. п.

**Образцовые средства измерений** — это меры, измерительные приборы или преобразователи, служащие для контроля нижестоящих по поверочной схеме измерительных средств. Образцовые средства периодически поверяются по эталонам. Их точность имеет большое значение для обеспечения единства измерений.

**Рабочие средства измерений** — это меры, устройства или приборы, применяемые для измерений, не связанных с передачей единицы физической величины (например, концевая мера длины, используемая для контроля размеров изделий или для наладки станков).

Измерительные средства характеризуются соответствующими параметрами и характеристиками.

**Деление шкалы прибора** — промежуток между двумя соседними отметками шкалы.

**Длина (интервал) деления шкалы** — расстояние между осями двух соседних отметок шкалы.

**Цена деления шкалы** — разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы, например 0,002 мм при длине деления шкалы прибора, равной 1 мм.

**Чувствительность измерительного прибора** — отношение изменения сигнала на выходе измерительного средства к вызвавшему его изменению измеряемой величины. Например, при перемещении измерительного наконечника головки ИПП на величину цены деления 0,5 мкм указатель перемещается на одно деление шкалы, равное 1 мм. Чувствительность этого прибора равна  $1000 : 0,5 = 2000$ . Для шкальных измерительных приборов типа пружинных головок, индикаторов часового типа чувствительность численно равна передаточному отношению механизма прибора.

**Диапазон показаний (измерений по шкале)** — область значений шкалы, ограниченная ее начальным и конечным значениями. Например, диапазон показаний оптиметра  $\pm 0,1$  мм.

**Диапазон измерений** — область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений. Например, диапазон измерения длин на проекционном вертикальном оптиметре ИКВ-3 0—200 мм.

**Предел измерений** — наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений.

**Измерительная сила** — сила воздействия измерительного наконечника на измеряемую деталь в зоне контакта.

Для средств измерения, предназначенных для использования по отдельности, т. е. таких, которые не предназначены для использования совместно с другими устройствами, например в измерительных системах по ГОСТ 8.009—72, нормируются следующие метрологические характеристики.

**Систематическая составляющая  $\Delta_c$  погрешности средства измерений в точке  $x$  диапазона измерений**

$$\Delta_c = \frac{\bar{\Delta}_m + \bar{\Delta}_0}{2};$$

здесь  $\bar{\Delta}_m = \frac{\sum_{l=1}^n \Delta_{ml}}{n}$ , где  $n$  — число опытов при определении  $\Delta_{ml}$ ,

$\Delta_{cl}$ ;  $\Delta_{ml}$  —  $l$ -я — реализация погрешности средства измерения в точке диапазона измерения при изменении информативного параметра входного или выходного сигнала со стороны меньших, чем  $x$ , значений;

$\bar{\Delta}_0 = \frac{\sum_{l=1}^n \Delta_{cl}}{n}$ , где  $\Delta_{cl}$  —  $l$ -я — реализация погрешности средства измерения в точке  $x$  диапазона измерения при изменении информативного параметра входного или выходного параметра со стороны больших, чем  $x$ , значений;  $\bar{\Delta}_m$  и  $\bar{\Delta}_0$  — средние значения.

Нормируется систематическая составляющая  $\Delta_c$  погрешности пределом допускаемой составляющей погрешности  $\Delta_{cd}$ .

**Среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности средств измерения**

$$s(\Delta) = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^n (\Delta_{ml} - \bar{\Delta}_m)^2 - \sum_{l=1}^n (\Delta_{cl} - \bar{\Delta}_0)^2}{2n - 1}}$$

и нормируется пределом допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности средства  $\sigma_d (\Delta)$ .

*Вариация показаний* измерительного прибора  $b = |\Delta_m - \Delta_s|$  и нормируется пределом допускаемого значения  $b_d$ .

*Интенсивность выходов* систематической составляющей погрешности средств измерения за предел допускаемых погрешностей

$$\lambda = \frac{dP_c}{dt} \frac{1}{P_c},$$

где  $P_c$  — вероятность того, что систематическая составляющая погрешности группы средств измерения не превышает предела допускаемых значений;  $t$  — время.

Точность средств измерения длин и углов регламентирована стандартами общих технических требований или условий.

Для каждого класса точности устанавливается определяющий его комплекс требований к метрологическим характеристикам из числа предусмотренных ГОСТ 8.009—72, достаточный для оценки инструментальной погрешности результатов измерений.

При измерении электрических величин пределы допускаемых погрешностей обычно выражают в форме *приведенных* или *относительных* погрешностей в процентах. Например, для приведенной погрешности  $\gamma = \pm 1,5\%$  обозначение класса точности принято 1,5; для относительной погрешности  $\delta = \pm 0,5\%$  обозначение класса точности принято 0,5 (в кружочке).

В отличие от большинства электронизмерительных приборов для средств измерения длин и углов выражают пределы допускаемых погрешностей в форме *абсолютных* погрешностей, т. е. в единицах измеряемой величины. Например, для концевых плоскопараллельных мер длины устанавливаются пределы допускаемых отклонений средней длины от номинальной, отклонений от плоскопараллельности, характеристики притираемости.

Классы точности плоскопараллельных концевых мер длины и угловых концевых мер обозначают арабскими цифрами (см. гл. 13).

Пределы допускаемых абсолютных погрешностей для координатно-измерительных приборов, длиномеров, компараторов, универсальных и инструментальных микроскопов устанавливают в соответствии с формулой

$$\Delta = \pm (a + b|x|),$$

где  $\Delta$  — предел допускаемой абсолютной погрешности;  $a$  — наименьшее положительное число, выраженное в единицах измеряемой величины;  $b$  — положительное число;  $x$  — измеряемая величина.

#### 4. СОСТАВЛЕНИЕ ПОВЕРОЧНЫХ СХЕМ

Поверочные схемы подразделяют на общесоюзные и локальные (метрологических служб предприятий, объединений, ведомств). Поверочные схемы служат руководящими материалами при составлении методик и стандартов на поверку образцовых и рабочих средств измерения.

Локальные поверочные схемы должны быть согласованы с органами Госстандарта, которые осуществляют поверку образцовых средств, включенных в схему, и утверждены руководителем предприятия. В локальных поверочных схемах приводят сведения о методах поверки, о ти-

пах и точности рабочих средств измерений и о типе образцовых средств измерения.

Общесоюзные поверочные схемы содержат сведения о государственных эталонах, эталонах-копиях, эталонах-свидетелях, рабочих эталонах, образцовых средствах измерения и методах поверки (методах передачи размера единиц физических величин).

Общесоюзные и локальные поверочные схемы содержат текстовой материал, однако локальные схемы допускается составлять без сопровождения текстовым материалом.

Чертеж поверочной схемы должен содержать наименование средств измерения, диапазон значений физической величины, оценки погрешностей, наименование методов поверки.

**Пример 1.** Предприятие или одно из объединений получило задание освоить производство двух измерительных приборов. Первый прибор — цифровой фотоэлектрический длиномер с ценой единицы 0,1 мкм и диапазоном показаний 99,9999 мкм. Второй прибор — фотоэлектрический расстановый длиномер ФЭРД-10 МВТУ с ценой единицы 0,05 мкм и диапазоном показаний 9,99995 мкм. Для поверки этих приборов необходимо составить локальную поверочную схему.

Соотношение погрешностей образцовых и рабочих средств должно быть не более 1 : 3 согласно ГОСТ 8020—68. Поэтому в качестве образцовых мер для поверки первого прибора необходимо иметь набор концевых плоскопараллельных мер длины 0,1—100 мкм 2-го разряда, имеющих доверительные абсолютные погрешности  $\Delta = (0,05 + 0,5L)$  мкм при доверительной вероятности 0,98.

Для поверки второго прибора концевые меры второго разряда непригодны, поскольку их погрешности и погрешности длиномера ФЭРД-10 МВТУ соизмеримы. Для поверки этого прибора необходимо иметь образцовые концевые меры длины 1-го разряда, доверительные погрешности которых при доверительной вероятности 0,98 не превышают  $\Delta = (0,02 + 0,2L)$  мкм.

Поверку обоих приборов проводят методом прямых измерений, при котором блоки образцовых мер устанавливают на стол длиномера под измерительный наконечник и измеряют. Оба набора мер должны храниться в измерительных лабораториях объединения, причем набор концевых мер 2-го разряда может поверяться по набору мер 1-го разряда. Набор мер 1-го разряда должен поверяться в метрологических институтах, имеющих соответствующие средства поверки (см. гл. 13).

Пример локальной поверочной схемы для поверки обоих приборов приведен на рис. 1.

**Пример 2.** Разрабатывается цифровой фотоэлектрический компаратор с допускаемой основной погрешностью  $\Delta = (0,2 + 0,5L)$  мкм и цифровой измерительный микроскоп с допускаемой погрешностью измерения перемещений кареток  $\Delta = (0,5 + 1L)$ . Необходимо составить локальную поверочную схему для поверки этих приборов.

Соотношение погрешностей образцовых и рабочих средств должно быть не более 1 : 2 согласно ГОСТ 8020—75. Поэтому в качестве образцовых мер для измерительного микроскопа можно применять штриховую меру 2-го разряда, имеющую доверительную абсолютную погрешность  $\Delta = (0,2 + 0,5L)$  при доверительной вероятности 0,98. Для поверки цифрового компаратора образцовая мера 2-го разряда непригодна, поскольку их погрешности соизмеримы. Для поверки компаратора необходима образцовая штриховая мера 1-го разряда, погрешность которой  $\Delta = (0,1 + 0,2L)$  мкм. В этом случае соотношение между погрешностями образцовых мер и компаратора менее 1 : 2.

Поверка обоих приборов должна проводиться методом прямых измерений, при котором образцовая мера устанавливается на столе компаратора или на каретках микроскопа.

Обе меры должны храниться в измерительной лаборатории завода, на котором будут выпускаться эти приборы. Образцовая мера 1-го разряда может быть использована для поверки меры 2-го разряда. Сама же мера 1-го разряда должна поверяться в одном из метрологических институтов страны, имеющих рабочие эталоны в виде штриховых мер либо интерференционные установки для абсолютных измерений длины в длинах волн вторичных эталонных излучений криптана 86, гелий-неоновых лазеров, ртути 198 и кадмия 114. Локальная поверочная схема для поверки приборов по этому примеру приведена на рис. 2.

5. ВЫБОР КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Выбор измерительных средств зависит от масштаба производства. В опытном и мелкосерийном производствах применяют универсальные средства контроля и измерений. При крупносерийном и массовом производстве применяют специализированные средства, а универсальные средства применяют для наладки и контроля технологического процесса [22].

Мелкие изделия и детали контролируют на стационарных станковых установках и приспособлениях. Детали крупных габаритов, большой массы, а также мелкие детали, находящиеся в процессе обработки, контролируют переносными измерительными средствами.

При большом числе контролируемых параметров в серийном производстве применяют многомерные контрольно-измерительные приспособления. Так, например, при контроле коленчатых валов поршневых двигателей и компрессоров используют приспособления для контроля одновременно 8—12 диаметров и 6—10 длин. Детали простой геометрической формы, например шарики, ролики, кольца подшипников качения, целесообразно контролировать контрольными автоматами. Контрольные автоматы широко применяют также при селективной сборке деталей в узлы, когда повышение точности изготовления деталей для соблюдения взаимозаменяемости нецелесообразно.

Для деталей нежесткой конструкции требуется применять бесконтактные измерительные средства или средства с малым измерительным усилием. В качестве примера можно привести объекты контроля в виде мембраны, апероидных и малометрических коробок. Профиль мембран контролируется длиномерами с измерительным усилием, не превышающим 0,01 Н.

Прогрессивной формой контроля является управляющий контроль. Сигнал о контролируемом параметре от измерительного средства, установленного на станке, подается на управляющие устройства станка для его поднастройки. Эта форма контроля позволяет повысить точность изготовления изделий на круглошлифовальных станках на один-два качества. При этом повышается производительность за счет безостановочной работы станков при измерениях.

В опытном и единичном производствах обычно контрольно-измерительная спецификация не разрабатывается, что объясняется не только отсутствием экономической целесообразности, но и невозможностью задерживать производство на период разработки оснастки.

При выборе измерительных средств необходимо учитывать допускаемую погрешность измерения  $\Delta_{изм}$ , которая зависит от допуска  $IT$  на изготовление изделий. Для размеров до 500 мм установлены ряды погрешностей измерения для 2—17-го квалификаций (табл. 4). В случае несоответствия допусков на изготовление с указанными в табл. 4 допускаемую погрешность измерения следует выбирать по ближайшему меньшему значению  $IT$ . Для грубых квалификаций допускаемая погрешность измерения около 20%, а для точных квалификаций — около 35% от допуска на изготовление.

Установленные стандарты погрешности измерения являются наибольшими, которые можно допускать при измерении, они включают как случайные, так и неучтенные систематические погрешности измерения (погрешности измерительных средств, установочных мер, базирования, температурных деформаций и т. д.). Значения размеров,

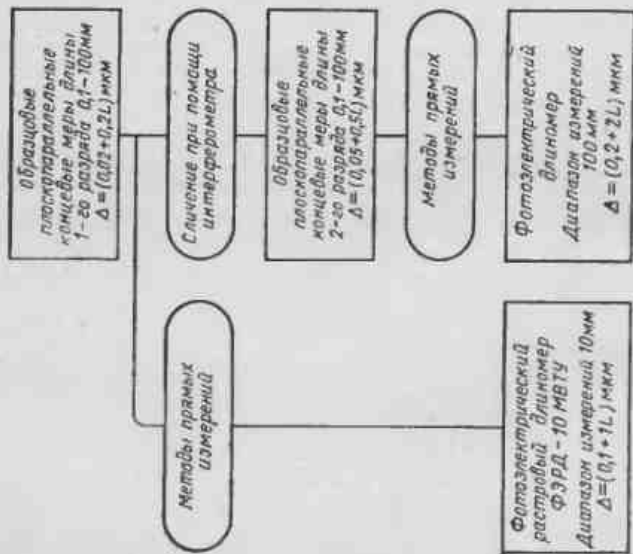


Рис. 1. Локальная поверочная схема. Концевые меры длины

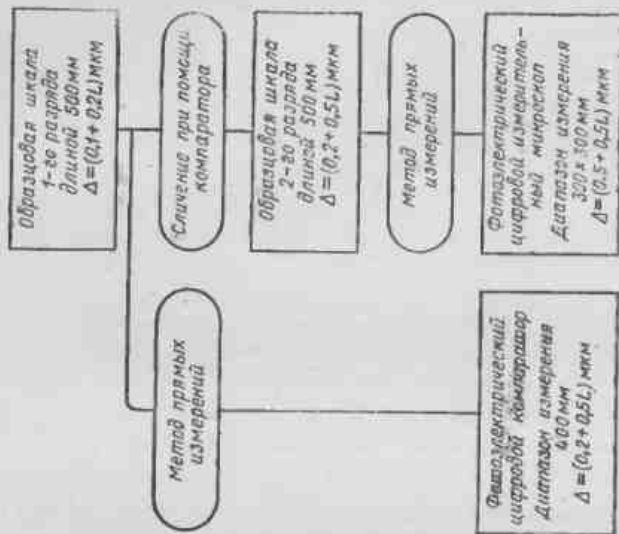


Рис. 2. Локальная поверочная схема. Штриховые меры длины

4. Виды погрешностей измерения, мм

Продолжение табл. 4

Номинальные размеры, мм	Качлнтеры						
	2		3		4		5
	<i>IT</i>	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>
Св. До 3	1,2	0,4	2,0	0,8	3	1,0	4
3 до 6	1,5	0,6	2,5	1,0	4	1,4	5
> 6 > 10	1,5	0,6	2,5	1,0	4	1,4	5
> 10 > 18	2,0	0,8	3,0	1,2	5	1,6	8
> 18 > 30	2,5	1,0	4,0	1,4	6	2,0	9
> 30 > 50	2,5	1,0	4,0	1,4	7	2,4	11
> 50 > 80	3,0	1,2	5,0	1,8	8	2,8	13
> 80 > 120	4,0	1,6	6,0	2,0	10	3,0	15
> 120 > 180	5,0	2,0	8,0	2,8	12	4,0	18
> 180 > 250	7,0	2,8	10,0	4,0	14	5,0	20
> 250 > 315	8,0	3,0	12,0	4,0	16	6,0	23
> 315 > 400	9,0	3,0	13,0	5,0	18	6,0	25
> 400 > 500	10,0	4,0	15,0	5,0	20	6,0	27

Номинальные размеры, мм	Качлнтеры									
	13		14		15		16		17	
	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>
Св. До 3	30	250	50	400	80	600	120	1000	200	200
3 до 6	40	300	60	480	100	750	160	1200	240	240
> 6 > 10	50	360	80	580	120	900	200	1500	300	300
> 10 > 18	60	430	90	700	140	1100	240	1800	380	380
> 18 > 30	70	520	120	840	180	1300	280	2100	440	440
> 30 > 50	80	620	140	1000	200	1600	320	2500	500	500
> 50 > 80	100	740	160	1200	240	1900	400	3000	600	600
> 80 > 120	120	870	180	1400	280	2200	440	3500	700	700
> 120 > 180	140	1000	200	1600	320	2500	500	4000	800	800
> 180 > 250	160	1150	240	1850	380	2900	600	4600	1000	1000
> 250 > 315	180	1300	260	2100	440	3200	700	5200	1100	1100
> 315 > 400	180	1400	280	2300	460	3600	800	5700	1200	1200
> 400 > 500	200	1550	320	2500	500	4000	800	6300	1400	1400

Примечание. Разрешается увеличение допускаемой погрешности измерения, указанной в табл. 4, при уменьшении допуска размера, учитывающего это увеличение, а также в случае разделения изделий на размерные группы для селективной сборки.

Номинальные размеры, мм	Качлнтеры						
	5		6		7		8
	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\Delta_{изм}$
Св. До 3	1,4	6	1,8	10	3,0	14	3,0
3 до 6	1,6	8	2,0	12	3,0	18	4,0
> 6 > 10	2,0	9	2,0	15	4,0	22	5,0
> 10 > 18	2,8	11	3,0	18	5,0	27	7,0
> 18 > 30	3,0	13	4,0	21	6,0	33	8,0
> 30 > 50	4,0	16	5,0	25	7,0	39	10,0
> 50 > 80	4,0	19	5,0	30	9,0	46	12,0
> 80 > 120	5,0	22	6,0	35	10,0	54	12,0
> 120 > 180	6,0	25	7,0	40	12,0	63	16,0
> 180 > 250	7,0	29	8,0	46	12,0	72	18,0
> 250 > 315	8,0	32	10,0	52	14,0	81	20,0
> 315 > 400	9,0	36	10,0	57	16,0	89	24,0
> 400 > 500	9,0	40	12,0	63	18,0	97	26,0

Номинальные размеры, мм	Качлнтеры									
	9		10		11		12		13	
	<i>IT</i>	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>	$\Delta_{изм}$	<i>IT</i>	
Св. До 3	25	6	40	8	60	12	100	20	140	
3 до 6	30	8	48	10	75	16	120	30	180	
> 6 > 10	36	9	58	12	90	18	150	30	220	
> 10 > 18	43	10	70	14	110	30	180	40	270	
> 18 > 30	52	12	84	18	130	30	210	50	350	
> 30 > 50	62	16	100	20	160	40	250	50	390	
> 50 > 80	74	18	120	30	190	40	300	60	460	
> 80 > 120	87	20	140	30	220	50	350	70	540	
> 120 > 180	100	30	160	40	250	50	400	80	630	
> 180 > 250	115	30	185	40	290	60	460	100	720	
> 250 > 315	130	30	210	50	320	70	520	120	810	
> 315 > 400	140	40	230	50	360	80	570	120	890	
> 400 > 500	155	40	250	50	400	80	630	140	970	

полученных при измерении с погрешностью, не превышающей установленной стандартом, принимают за действительные.

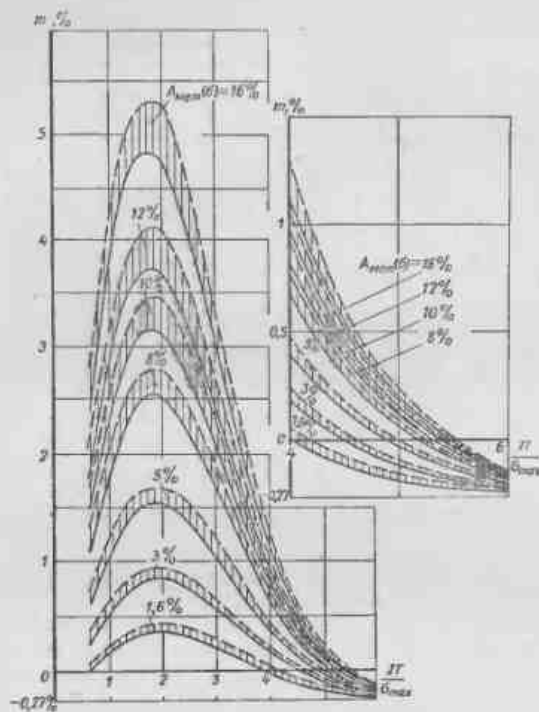
Случайная погрешность измерения не должна превышать 0,6 от предела допускаемой погрешности измерения. Выделение при нормировании случайной погрешности, а не систематической объясняется трудностью определения последней. Случайную погрешность измерения принимают равной  $2\sigma$ , где  $\sigma$  — значение среднего квадратического отклонения погрешности измерения.

Допускаемые погрешности измерения нормируются вне зависимости от способа измерения при приемочном контроле.

Погрешности измерения не должны нарушать взаимозаменяемости изделий и ухудшать их качество. Влияние погрешности измерения может проявляться в том, что часть измеренных деталей *m* будет отнесена к годным, хотя истинные значения их размеров находятся за пределами поля допуска (неправильно принятые), а часть деталей *n*, имеющих размеры в пределах поля допуска, будет отнесена к бракованным (неправильно забракованные). Имеет значение также параметр, характеризующий вероятностную предельную величину *C* выхода размера за каждую границу поля допуска у неправильно принятых деталей.

Количество неправильно принятых *m* и неправильно забракованных *n* изделий, а также величина *C* определяются вероятностным расчетом и зависят от законов распределения погрешностей изготовления и измерения.

На рис. 3—5 показаны графики для определения величин *m*, *n* и *C* при распределении контролируемых размеров по нормальному закону (сплошные кривые) и по закону равной вероятности (штриховые кривые). По оси абсцисс указана относительная точность изготовления изделий, выраженная как отношение допуска изготовления *IT*

Рис. 3. Количество  $m$  неправильно принятых деталей

к среднему квадратическому отклонению погрешности изготовления  $\sigma_{\text{тех}}$ . Параметры  $m$  и  $C$  на графиках определены с доверительной вероятностью 0,9973.

Каждая кривая графиков соответствует определенному значению относительной погрешности измерения

$$A_{\text{мет}}(\sigma) = \frac{\sigma}{IT} 100\%,$$

где  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение погрешности измерения.

Как следует из рис. 3—5, значения параметров разбраковки мало отличаются при распределении погрешности измерения по нормальному закону и закону равной вероятности, принятыми за граничные законы распределения погрешностей измерения.

При определении параметров  $m$ ,  $n$  и  $C$  рекомендуется принимать  $A_{\text{мет}}(\sigma) = 16\%$  — для квалитетов 2—7; 12% — для квалитетов 8 и 9 и 10% — для 10-го квалитета и грубее.

Параметры  $m$ ,  $n$  и  $C$  на рис. 3—5 даны при симметричном расположении допуска относительно центра группирования размеров контролируемых деталей.

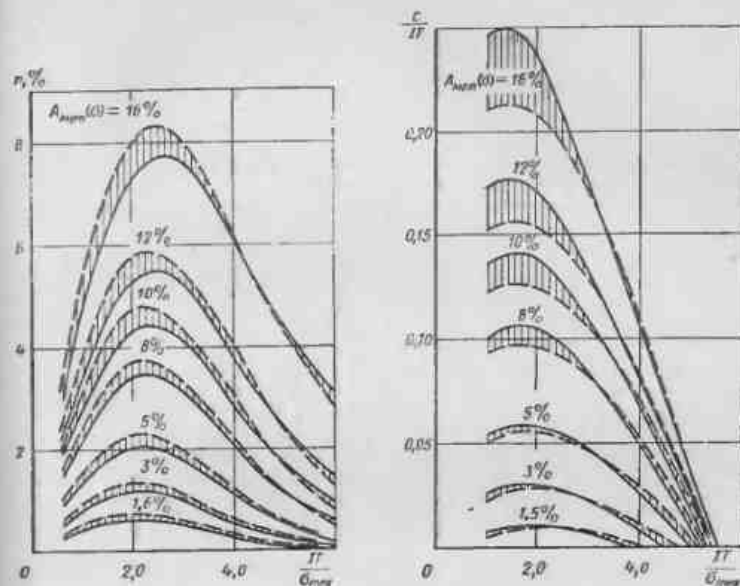
Рис. 4. Количество  $n$  неправильно забракованных деталей

Рис. 5. Величина выхода размера неправильно принятых деталей за предельные размеры

Совместное влияние случайной и систематической погрешностей измерения на  $m$ ,  $n$  и  $C$  рассмотрено в приложении к СТ СЭВ 303—76. Возможные предельные значения параметров  $m$ ,  $n$  и  $C/IT$ , соответствующие экстремальным значениям кривых, приведены в табл. 5.

Пределы допускаемых погрешностей измерения могут быть увеличены только в двух случаях: а) когда уменьшен допуск изделия по сравнению с нормируемым (т. е. когда вводится производственный допуск \*), что дает возможность использовать соответствующие (менее точные) измерительные средства; б) при разделении изделий на размерные группы для селективной сборки.

Конструкторы первоначально выбирают допуск на изготовление, исходя из служебного назначения изделия. После этого по табл. 4 находят допускаемую погрешность измерения и далее по графикам (рис. 3—5) или по табл. 5 определяют количество неправильно принимаемых изделий.

Пример. Исходя из эксплуатационных требований вал должен быть изготовлен диаметром 100h6 (100 $_{-0,022}$ ).

По табл. 4 устанавливаем, что допускаемая погрешность измерения для вала равна 0,006 мм. Принимаем  $A_{\text{мет}}(\sigma) = 16\%$ .

\* Допуск на изготовление, сокращенный для уменьшения отрицательного влияния погрешностей измерения.

Для данного значения  $A_{мет}$  ( $\sigma$ ) при неизвестном законе распределения контролируемых размеров (это имеет место при проектировании новых машин) по табл. 5 находим, что  $m = 5,2\%$ , и  $c = 0,25IT \approx 6$  мкм.

Следовательно, среди годных деталей может оказаться до 5,2% неправильно принятых деталей с предельными отклонениями  $+0,006$  и  $-0,026$  мм (рис. 6, а).

**5. Возможные предельные значения параметров разбраковки (при нормальном законе распределения размеров)**

$A_{мет}$ ( $\sigma$ ), %	$A_{мет}$ ( $\sigma$ ), %			$A_{мет}$ ( $\sigma$ ), %			$\frac{C}{IT}$
	$m$ , %	$n$ , %	$\frac{C}{IT}$	$m$ , %	$n$ , %	$\frac{C}{IT}$	
1,6	0,37—0,39	0,7—0,75	0,01	10	3,10—3,50	4,5—4,75	0,14
3	0,87—0,90	1,2—1,30	0,03	12	3,75—4,10	5,4—5,80	0,17
5	1,60—1,70	2,0—2,25	0,06	16	5,00—5,40	7,8—8,25	0,25
6	2,60—2,80	3,4—3,70	0,10				

**Примечания:** 1. Первые значения  $m$  и  $n$  соответствуют распределению погрешности измерения по нормальному закону, вторые — по закону равной вероятности. При неизвестном законе распределения погрешности измерения значения  $m$ ,  $n$  и  $C/IT$  можно определять как средние из приведенных значений.

2. Предельные параметры разбраковки учитывают влияние случайной составляющей погрешности измерения.

Если по условиям работы изделия влияние погрешностей измерения признается допустимым, то оставляют выбранный допуск и этим устанавливают, что приемочные границами будут являться предельные размеры изделия (см. рис. 6, а). Если конструктор признает влияние погрешности измерения существенным и недопустимым, то есть два способа уменьшения этого влияния: 1) можно выбрать другой квалитет или другое поле допуска, при которых влияние погрешности измерения будет признано допустимым; 2) можно ввести производственный допуск, когда приемочные границы смещаются внутрь поля допуска (происходит уменьшение допуска на изготовление). Первый способ является предпочтительным.

При введении производственного допуска могут быть два варианта в зависимости от того, известна или не известна точность технологического процесса.

**Пример.** Точность технологического процесса неизвестна. Предельные отклонения уменьшаются у каждой границы на половину допускаемой погрешности измерения. Для рассмотренного примера вал будет иметь  $\varnothing 100_{-0,063}^{-0,009}$  (рис. 6, б). На чертеже вала у размера  $\varnothing 100h6$  должна быть дана надпись: «При измерении размера  $\varnothing 100h6$  вводится производственный допуск: размер должен быть не более  $\varnothing 99,997$  и не менее  $\varnothing 99,981$ ».

**Пример.** Точность технологического процесса известна. В этом случае предельные отклонения уменьшаются на величину  $C$  (рис. 6, в). Предположим, что для рассмотренного примера  $\frac{IT}{\sigma_{тех}} = 4$ . По графику (см. рис. 5) при  $A_{мет} (\sigma) = 16\%$  находим, что  $C = 0,11 \times IT \approx 0,002$  мм. Следовательно, на чертеже вала должна быть надпись: «При измерении размера  $\varnothing 100h6$

вводится производственный допуск: размер должен быть не более  $\varnothing 99,998$  и не менее  $\varnothing 99,980$ ». Введение производственного допуска должно быть обосновано.

Выбор контрольно-измерительных средств производится с учетом допускаемой погрешности измерений.

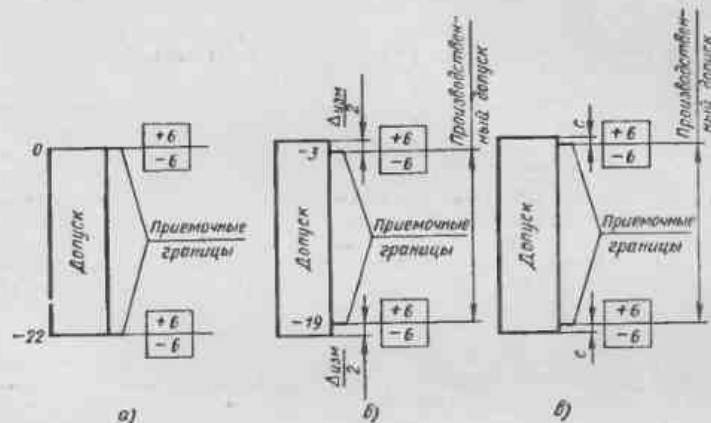


Рис. 6. Варианты приемочных границ

**Пример.** Необходимо выбрать измерительное средство для контроля отверстия  $\varnothing 40h8$  с высотой шероховатостей 1,25—0,63 мкм.

Из табл. 5 находим, что для такого отверстия с допуском 39 мкм допускаемая погрешность измерения не должна превышать 10 мкм. Для этих целей может быть применен нутромер индикаторный с ценой деления отчетного устройства 0,01 мм при установке на размер 40 мм по концевой мере 4-го класса с боковниками. Допускаемая разность температур измеряемой детали и нутромера не должна быть более 5° С [13].

По табл. 2 находим, что при контроле отверстия  $\varnothing 40h8$  выбранным прибором при неизвестном законе распределения отклонений не более 3,9% бракованных деталей могут быть приняты как годные и 5,6% годных деталей могут быть отнесены к бракованным. Значение выхода размера за границы поля допуска у неправильно принятых деталей может составить  $0,17IT \approx 6,6$  мкм.

**6. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ**

**Выбор баз** при измерении оказывает существенное влияние на точность измерений. В практике необходимо руководствоваться принципом единства баз, согласно которому должны совпадать эксплуатационная, технологическая и измерительная базы [19]. При отступлении от этого принципа необходимо обеспечить наибольшую возможную точность положения измерительной базы относительно эксплуатационной или технологической базы.

Базирование детали в процессе измерения сводится к тому, чтобы линия измерения совпадала с направлением измеряемого размера. Малейшие нарушения точности базирования вызывают часто значительные погрешности измерения.

*Измерительное усилие* обеспечивает замыкание элементов измерительной цепи, включающей как элементы измерительного средства, так и объект измерения, и вызывает их упругие деформации. При оценке влияния измерительного усилия на погрешность измерения принято выделять упругие деформации установочного узла и деформации в зоне контакта измерительного наконечника с деталью.

В нормативных документах обычно регламентируются максимальные значения и перепад измерительного усилия. Максимальное усилие следует учитывать при расчете контактных деформаций, которые, кроме того, зависят от материала, формы и состояния поверхности измерительного наконечника и объекта измерения. Перепады измерительного усилия, особенно в момент реверса механизма прибора, учитывают при измерении биений с использованием различных штативов и стоек.

В производственных условиях рекомендуется проводить эксперименты влияния жесткости используемых присоединительных узлов и влияния вылета установки головки. Для этого достаточно определить биение цилиндрической детали при помощи микрометра (эти головки обладают пренебрежимо малым перепадом усилия в моменты реверса) или индуктивными системами с малым измерительным усилием, а затем это же биение проверить посредством применяемых на производстве штативов при различном вылете. При этом аттестацию и поверку необходимо проводить при одной установке детали, так как на погрешность измерения оказывает влияние погрешность базирования.

Выявление суммарного влияния температурных деформаций на погрешность измерения сложно и связано с необходимостью иметь данные о физических свойствах материалов деталей прибора и объекта измерения и температурных полях в этих деталях.

В связи с ограниченными данными, которыми обычно располагают при проведении измерений, для определения предельного значения ожидаемой погрешности измерения используется понятие «температурный режим». Методика выбора температурного режима приведена в работе [13].

На погрешность измерения в ряде случаев существенное влияние оказывает форма поверхности измеряемой детали. Форму поверхности следует учитывать при измерении внутренних размеров. Особенность измерения этих размеров заключается в том, что измерительные средства имеют с деталью, как правило, точечный контакт, и требуется перемещать или деталь, или наконечник прибора для нахождения минимума размера в осевой плоскости измеряемого цилиндра и максимума в плоскости, перпендикулярной оси. На точность перемещения и фиксации максимальных и минимальных отклонений большое влияние оказывает состояние поверхности.

*Компараторная погрешность* является следствием несоблюдения принципа Аббе. Эта погрешность возникает при несовпадении линии измерения и линии отсчета, когда вследствие неточности перемещений по направляющим прибора возникают повороты его подвижных частей и, как следствие, несовпадение величин перемещений визирного и отсчетного органов.

У приборов типа длиномера и компаратора линии измерения, размера и отсчета совпадают, поэтому компараторная погрешность равна величине второго порядка малости, и ею можно пренебречь. Однако в приборах, служащих для измерений по двум и более направлениям, компараторная погрешность может достигать значительной величины

и будет меняться в зависимости от удаления линии измерения от линии отсчета. Уменьшить эту погрешность можно, если располагать предмет по возможности ближе к шкале прибора.

*Форма измерительного наконечника* оказывает существенное влияние как на ошибку измерения, так и на качество информации, которую необходимо получить при измерениях. Так, если при измерениях нужно получить представление о соответствии размера детали некоторым предельным величинам, то наконечник должен быть плоским, с большой измерительной поверхностью.

Если при измерениях нужно определять также и ошибки формы (но при этом следует избежать влияния на результат измерения шероховатости поверхности), то наконечник должен иметь сферическую форму, причем радиус сферы должен быть таким, чтобы при измерениях наконечник не входил во впадины микронеровностей.

Если нужно измерить шероховатость поверхности или размеры деталей с ее учетом, то радиус сферы измерительного наконечника (или иглы) должен быть минимальным.

## МЕРЫ ДЛИНЫ КОНЦЕВЫЕ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ. УГЛОВЫЕ МЕРЫ

### 1. ВИДЫ И НАЗНАЧЕНИЕ МЕР

Меры длины и угловые меры подразделяют на образцовые и рабочие. Образцовые меры предназначены для хранения единицы длины и угла. С их помощью производят поверку и градуировку мер низшего разряда. Измерительных приборов и систем. Рабочие концевые меры используют для измерения изделий, установки приборов (например, оптиметров, микрометров) на ноль при методе сравнения, для разметочных работ и т. п.

Рабочие штриховые меры длины используют в штангенциркулях, длиномерах, компараторах, универсальных измерительных микроскопах, координатно-расточных станках. Рабочие штриховые угловые меры применяют в угломерах, гониометрах, оптических делительных головках.

Все меры подразделяют на однозначные и многозначные. Однозначная мера воспроизводит длину или угол одного размера; например, плоскопараллельная концевая мера длины, угловая концевая мера, штриховая мера, имеющая два деления по концам меры. Многозначная мера воспроизводит ряд длин или углов различного размера; например, линейка с миллиметровыми подразделениями, шкалы микрометра, шкала механического угломера.

Концевые меры длины и угловые концевые меры применяют как единичные, например, для установки микрометров на ноль, так и комплектами для получения блока мер необходимого размера.

### 2. КОНЦЕВЫЕ МЕРЫ ДЛИНЫ И ИХ ПОВЕРКА

Плоскопараллельные концевые меры длины выпускаются инструментальными заводами в виде прямоугольных параллелепипедов (рис. 1, а) из закаленной хромистой стали или твердого сплава. Нерабочие грани отшлифованы, а рабочие поверхности и отшлифованы и весьма точно доведены. К рабочим поверхностям предъявляют высокие требования по шероховатости и плоскопараллельности. По ГОСТ 2789—73 для рабочих поверхностей концевых мер  $Rz = 0,065 \pm 0,050$  мкм.

Требования к плоскопараллельности концевых мер длины оговорены в ГОСТ 9038—73. В табл. 1 приведены допускаемые отклонения от плоскопараллельности для 0—5-го классов точности концевых мер длины.

Номинальным размером концевой меры длины является срединная длина  $OO'$ , т. е. длина перпендикуляра, опущенного из середины верхней рабочей поверхности на противоположную поверхность. Допускаемые погрешности длины концевых мер зависят от класса точности мер.

#### 1. Точность концевых мер длины

Номинальное значение длины концевой меры, мм	Допускаемые отклонения, мкм, для классов точности					
	0		1		2	
	от номинального значения ( $\pm$ )	от плоскопараллельности	от номинального значения ( $\pm$ )	от плоскопараллельности	от номинального значения ( $\pm$ )	от плоскопараллельности
До 10	0,10	0,09	0,20	0,16	0,4	0,3
Св. 10 до 25	0,14	0,10	0,30	0,16	0,6	0,3
» 25 » 50	0,20	0,10	0,40	0,18	0,8	0,3
» 50 » 75	0,25	0,12	0,50	0,18	1,0	0,35
» 75 » 100	0,30	0,12	0,60	0,20	1,2	0,35
» 100 » 150	0,40	0,14	0,80	0,20	1,6	0,4
» 150 » 200	0,50	0,15	1,0	0,22	2,0	0,4
250	0,60	0,15	1,20	0,25	2,5	0,4

Номинальное значение длины концевой меры, мм	Допускаемые отклонения, мкм, для классов точности					
	3		4		5	
	от номинального значения ( $\pm$ )	от плоскопараллельности	от номинального значения ( $\pm$ )	от плоскопараллельности	от номинального значения ( $\pm$ )	от плоскопараллельности
До 10	0,8	0,3	2,0	0,6	4	0,6
Св. 10 до 25	1,2	0,3	2,5	0,6	5	0,6
» 25 » 50	1,6	0,3	3,0	0,6	6	0,6
» 50 » 75	2,0	0,35	4,0	0,8	8	0,8
» 75 » 100	2,5	0,35	5,0	0,8	10	0,8
» 100 » 150	3,0	0,4	6,0	0,8	10	0,8
» 150 » 200	4,0	0,4	8,0	0,8	15	0,8
250	5,0	0,4	10	0,8	20	0,8



Для размеров до 250 мм их значения приведены в табл. 1 и 2. По согласованию сторон могут быть изготовлены более точные концевые меры длины класса 00.

Инструментальная промышленность выпускает ряд наборов концевых мер в специальных футлярах. Установлены пять градаций плоскопараллельных концевых мер длины, что позволяет составлять блоки разных размеров со ступенями в один мкм:

Градация, мкм	Номинальные размеры мер, мм	
0,001	От 0,991	до 1,01
0,01	> 1,00	> 1,5
0,1	> 1,00	> 2,0
0,5	> 0,5	> 25,0
10	> 10	> 100

Концевые меры с такими градациями позволяют составлять блоки с размерами через 0,001. Блок концевых мер составляется с использованием свойства притираемости поверхностей, имеющих малую шероховатость, малые отклонения от плоскопараллельности и тонкую масляную пленку на поверхности. При обычной промывке концевых мер в бензине толщина пленки приблизительно равна 0,02 мкм. Для притирки концевых мер в блок одну меру накладывают на другую со смещением и под некоторым усилием сдвигают вдоль рабочей плоскости (рис. 1, б). Благодаря молекулярному притяжению в присутствии тонкого слоя смазки сила сцепления концевых мер (в нормальном направлении к рабочим поверхностям) может

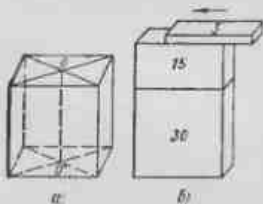


Рис. 1. Плоскопараллельные меры длины и угловые меры

быть равна нескольким кгс. Притираемость концевых мер должна соответствовать указанной в табл. 2.

Усилие сдвига концевых мер, которым в установленном порядке присвоен государственный Знак качества, для 1, 2 и 3-го классов должно быть не менее 100 Н — для мер из твердого сплава. Совершенно обезжиренные или покрытые тонким слоем смазки концевые меры не притираются.

Длинные концевые меры (размером более 100 мм) имеют специальные отверстия для соединения мер в блок с помощью стяжек.

## 2. Притираемость плоскопараллельных концевых мер длины

Классы концевых мер	Притираемость концевых мер к плоским стеклянным пластинам	Притираемость друг к другу в блок двух концевых мер размером до 100 мм
0	Без интерференционных полос и оттенков	Усилие сдвига от 29,4 до 78,5Н
1, 2, 3	Без интерференционных полос с допустимостью оттенков в виде светлых пятен, наблюдаемых в белом свете	

Инструментальная промышленность выпускает наборы концевых мер длины из твердого сплава восьми типов:

№ 1 классов 1, 2 и 3	— 83 шт.	} Защитные меры
№ 2 > 1, 2 и 3	— 38 шт.	
№ 3 > 1, 2 и 3	— 112 шт.	
№ 4 классов 0 и 1	— 10 шт.	
№ 5 > 0 и 1	— 10 шт.	
№ 6 > 0 и 1	— 19 шт.	
№ 7 > 1, 2 и 3	— 4 шт.	
№ 8 > 1, 2 и 3	— 4 шт.	

Промышленность выпускает наборы принадлежностей к плоскопараллельным концевым мерам длины. В ГОСТ 4119—76 приведены параметры и размеры принадлежностей, а также технические требования к ним.

В набор принадлежностей входят державки двух типов для крепления концевых мер и блоков, применяемых при поверочных и разметочных работах, а также основание для установки блоков при разметке. Для крепления блоков, включающих концевые меры размером более 100 мм, применяют стяжки с винтами, посредством которых свинчивают меры отверстием с нормированным усилием.

В набор включены различные боковики: плоскопараллельные, радиусные, центральной и чертильный, служащие для контроля наружных и внутренних размеров и разметочных работ. Необходимый для работы боковик накладывают на концевую меру или блок и скрепляют с помощью державок или стяжек. Требования к поверхностям боковиков оговорены в ГОСТ 4119—76.

Концевые меры длины поверяют при нормальных условиях измерения (см. гл. 12). Методы поверки разделяют на контактные и бесконтактные. Выбор методов и средств поверки концевых мер регламентируется ГОСТ 8.166—75.

В табл. 3 приведены средства, методы и погрешности поверки мер 1—5-го разрядов. Для поверки концевых мер класса 0 применяют концевые меры 2-го разряда.

Концевые меры длины 1-го разряда поверяют во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева и других метрологических институтах страны. Концевые меры длины 2-го разряда хранят и применяют в метрологических институтах страны, ЛПН и в лабораториях предприятий.

На каждый поверяемый набор концевых мер длины выдается свидетельство о государственной поверке, подписанное государственным поверителем. Свидетельство снабжается приложением (аттестатом), в котором приводится действительный размер каждой концевой меры длины. Пределы допускаемых погрешностей измерения длины при поверке, а также допускаемое отклонение от плоскопараллельности приведены в табл. 4.

По действительному размеру концевой меры можно вводить поправку в результаты измерений.

**Пример.** На вертикальном оптиметре измеряют диаметр непроходной стороны калибра-пробки для контроля отверстий  $\varnothing 50H7$ . Исполнительный размер калибра  $\varnothing 50,037_{-0,004}$  сравнивают на вертикальном оптиметре НКВ с блоком концевых мер длины 4-го разряда, состоящего из трех мер:  $45 + 4 + 1,02 = 50,02$  мм. Действительный размер блока концевых мер определяется действительными размерами мер, входящих в блок:  $40,0002 + 3,9986 + 1,0192 = 45,078$  мм. В результате измерения диаметра калибра необходимо ввести поправку  $45,018 - 45,020 = -0,002$  мм.

3. Средства, методы и погрешности поверки и аттестации концевых мер длины

Разряд поверки мер	Средства	Метод	Погрешность средства измерения
1	Рабочие эталоны. Интерферометр для абсолютных измерений длины плоскопараллельных концевых мер длины до 100 мм в длинах волны кадмия, естественного криптона, гелия	Прямых измерений	$S_0 = (7 + 10) \cdot 10^{-8}$
	Эталон-копия. Интерференционная установка для абсолютных измерений длины до 1 м в длинах волны вторичных эталонных излучений криптона 86, гелия-неоновых лазеров, ртути 198, кадмия 114	То же	$S = (1 \div 7) \cdot 10^{-7}$
	Интерференционный компаратор. Плоскопараллельные концевые меры длины 10—1000 мм, служащие рабочими эталонами	Сличения	$S = (0,01 + 0,05L)$ мкм
2	Интерферометр. Концевые меры длины 1-го разряда 0,1—1000 мм	»	$\Delta = (0,02 + 0,2L)$ мкм
3	Контактный интерферометр. Концевые меры длины 2-го разряда 0,1—1000 мм	»	$\Delta = (0,05 + 0,5L)$ мкм
4	Контактный интерферометр. Измерительная машина. Концевые меры длины 3-го разряда 0,1—1000 мм	»	$\Delta = (0,1 + 1L)$ мкм
5	Оптиметр, измерительная машина. Концевые меры длины 4-го разряда	»	$\Delta = (0,2 + 2L)$ мкм

4. Пределы допускаемых погрешностей измерения длины и допускаемое отклонение от плоскопараллельности, мкм

Номинальное значение длины концевой меры, мм	Разряды мер					
	1		2		3	
	Пределы допускаемых погрешностей измерения ( $\pm$ )	Допускаемое отклонение	Пределы допускаемых погрешностей измерения ( $\pm$ )	Допускаемое отклонение	Пределы допускаемых погрешностей измерения ( $\pm$ )	Допускаемое отклонение
Св. 10 до 25	0,02	0,10	0,06	0,10	0,11	0,16
» 25 » 50	0,02	0,10	0,06	0,10	0,12	0,16
» 50 » 75	0,03	0,10	0,08	0,10	0,15	0,18
» 75 » 100	0,03	0,12	0,09	0,12	0,18	0,18
» 100 » 125	0,04	0,12	0,10	0,12	0,20	0,20
» 125 » 150	0,04	0,14	0,11	0,14	0,22	0,20
» 150 » 175	0,05	0,14	0,12	0,14	0,25	0,20
» 175 » 200	0,06	0,16	0,14	0,16	0,28	0,25
250	0,06	0,16	0,15	0,16	0,30	0,25
300	0,07	0,16	0,18	0,18	0,35	0,25
400	0,08	0,18	0,20	0,18	0,40	0,25
500	0,10	0,20	0,25	0,20	0,50	0,30
	0,12	0,25	0,30	0,25	0,60	0,35

3. УГЛОВЫЕ МЕРЫ

Призматические угловые меры (рис. 2, а) предназначены для измерения углов методом сравнения и поверки угломерных приборов. Их выпускают по ГОСТ 2875—75 пяти типов. Типы угловых мер и градации углов приведены в табл. 5. Применяют как одиночные угловые меры, так и составленные в блоки. Чтобы рабочие поверхности угловых мер обладали свойством притираемости, требования к поверхностям должны

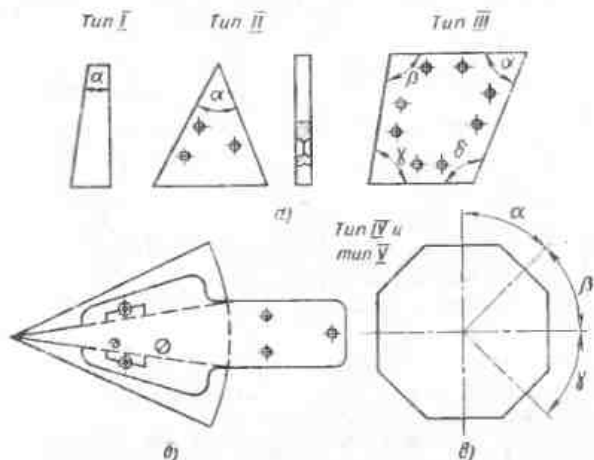


Рис. 2. Штриховые меры длины

быть такими же, как и к рабочим поверхностям мер длины. В отличие от концевых мер длины угловые меры при составлении их в блок не вносят погрешностей в суммарный размер блока из-за влияния притирочных слоев. При наборе блоков углы можно складывать и вычитать (рис. 2, б), что позволяет уменьшить число мер в наборах для перекрытия всего диапазона необходимых углов.

5. Градации угловых мер

Угловая мера	Градация	Угловая мера	Градация	
Угловая мера с одним рабочим углом $\alpha$ со срезанной вершинкой типа I	1°	Угловая мера с четырьмя рабочими углами $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ , $\delta$ типа III	1°	
	2°		10°	
Угловая мера с одним рабочим углом $\alpha$ остроугольного типа II	1°	Многогранные призмы с различным числом граней типа IV	—	
	10°		—	
	1°		Угловая мера с тремя рабочими углами ( $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ ) типа V	15°
	15° 10°			15°

6. Точность угловых мер

Классы угловых мер	Предел допустимых отклонений									
	рабочих углов от номинального значения, секунды	от перпендикулярности измерительных поверхностей к нижнему основанию меры, секунды		от параллельности основания и верхней поверхности, мкм, на длине, мм		от плоскостности измерительных поверхностей, мкм				
		70	100							
Дли мер типов										
—	I, II, III	IV	V	I, II, III	IV	I, II, III	IV	I, II, III	IV	V
00	—	±2	—	—	±5	—	—	—	0,05	—
0	±3	±5	—	±30	±10	16	1,5	0,10	0,05	—
1	±10	±10	±10	±60	±15			0,15	0,05	0,15
2	±30	±30	—	±100	±20			0,30	0,10	—

Рабочие угловые меры типов I, II, III применяют для измерения углов, наладки приборов и станков. Многогранные призмы типов IV, V применяют для поверочных работ (рис. 2, 6).

По точности угловые меры подразделяют на четыре класса. Пределы допускаемых отклонений основных размеров угловых мер приведены в табл. 6.

Угловые меры могут поставляться отдельно или в следующих наборах: № 1 из 93 шт. (классы 0, 1, 2), № 2 из 33 шт. (классы 0, 1, 2), № 3 из 8 шт. (классы 1, 2), № 4 из 8 шт. (класс 1), № 5 из 7 шт. (класс 0), № 6 из 24 шт. (классы 0, 1), № 7 из 3 шт. (классы 0, 1).

Инструментальная промышленность выпускает наборы № 8 принадлежности, в состав которых могут входить лекальная линейка, струбцины и клинья для крепления в блоке.

4. ШТРИХОВЫЕ МЕРЫ ДЛИНЫ И ИХ ПОВЕРКА

Промышленность выпускает штриховые меры длины в виде брусков из металла и стекла (рис. 3), линейек, ленточных рулеток.

Технические условия на штриховые брусковые меры длины определены ГОСТ 12069—78. Стандарт устанавливает нормы из допускаемое изменение длины штриховых мер во времени в зависимости от класса точности мер, нормы шероховатости их поверхностей, требования к размерам и расположению штрихов и цифровке.

Стандарт устанавливает четыре типа штриховых мер, отличающихся формой сечения, габаритами, номинальными длинами шкалы меры и классами точности.

Штриховые меры длины изготавливают однозначными и многозначными. Однозначные меры имеют два штриха, расстояние между кото-

рыми является длиной шкалы меры. Многозначные штриховые меры длины изготавливают с дециметровыми, сантиметровыми или миллиметровыми делениями. В связи с появлением фотоэлектрических цифровых измерительных систем по заказу потребителей изготавливаются расщепляющие и дифракционные решетки с делениями шкалы менее 0,1 мм, служащие рабочими мерами длины станков и приборов.

Точные брусковые штриховые меры длины изготавливают из инвара (36Н), имеющего малый температурный коэффициент линейного расширения ( $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ). Для мер, встраиваемых в станки и приборы,

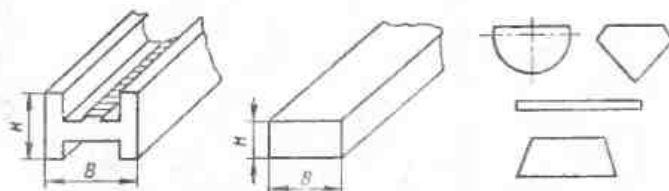


Рис. 3. Брусковые меры длины

применяют инварстабиль (58Н), сталь ЭИ792, оптические стекла Ф8, Ф18 с температурными коэффициентами линейного расширения, близкими к температурному коэффициенту конструкционных сталей, из которых изготавливают части станков и приборов  $[(10,0 \pm 11,5) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}]$ . Этим достигается минимальная разность температурных деформаций штриховых мер и частей станков и приборов при отклонении их температуры от нормальной.

Отечественной промышленностью разработаны и выпускаются высокоточные делительные машины типов МС и ВЕ для нанесения штрихов на штриховые меры высоких классов точности.

Делительная машина МС-40 предназначена для нанесения штрихов на длине 1000 мм. Отклонение от прямолинейности ее направляющих не превышает 2". Погрешность перемещения стола менее  $\pm 0,002$  мм. Машина снабжена фотоэлектрическим микроскопом с ценой единицы отсчета 0,001 мкм, который работает в цепи управления приводом стола машины.

При поверке штриховых мер длины определяют качество меры внешним осмотром, проверяют длину штрихов и их отклонение от перпендикулярности к осевым линиям. При поверке контролируются отклонение от плоскостности рабочих поверхностей и их шероховатость. Для образцовых мер 2-го разряда и мер класса точности 1 до 1000 мм установлены методы и средства поверки в ГОСТ 8.131—74.

Определение общей длины и длины делений шкалы меры осуществляют на компараторах. В отечественной промышленности внедрены высокоточные компараторы типа МС-40К, оснащенные фотоэлектрическими микроскопами. Точность штриховых брусковых мер длины приведена в табл. 7.

## 7. Точность стриховых мер длины

Номинальная длина, мм	Допускаемые отклонения длины мер в мкм, не более для классов точности					
	0	1	2	3	4	5
100	0,5	1,0	2,0	6,0	12,0	25,0
160	0,5	1,0	2,0	6,0	12,0	25,0
200	0,6	1,0	2,5	6,0	13,0	25,0
250	0,6	1,0	2,5	6,0	14,0	30,0
300	0,6	1,5	2,5	6,0	14,0	30,0
320	0,7	1,5	2,5	7,0	15,0	30,0
400	0,7	1,5	3,0	7,0	16,0	35,0
500	0,8	1,5	3,0	8,0	18,0	35,0
630	0,8	1,5	3,0	8,0	20,0	40,0
700	0,8	1,5	3,5	8,0	20,0	40,0
800	0,9	2,0	3,5	9,0	22,0	45,0
1000	1,0	2,0	4,0	10,0	25,0	50,0
1400	1,2	2,5	5,0	12,0	31,0	60,0
1600	1,5	2,5	5,0	13,0	34,0	70,0
2000	1,5	3,0	6,0	15,0	40,0	80,0
Отдельные миллиметровые и сантиметровые интервалы	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	20,0

## Глава 14

## КАЛИБРЫ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГЛАДКИХ И РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Детали с допусками примерно от *IT6* до *IT17*, особенно в массовом и крупносерийном производствах, часто контролируют инструментами, называемыми калибрами. Калибры применяют не для определения числового значения контролируемого параметра, а для определения того, выходит ли величина контролируемого параметра за нижнее или верхнее допустимое значение его или находится между двумя допустимыми пределами.

Классификация калибров. По виду контролируемых изделий и параметров калибры различают: гладкие для цилиндрических изделий; резьбовые; шлицевые; для контроля длины, уступов, глубины и высоты; для взаимного расположения поверхностей изделий и др.

По числу одновременно контролируемых элементов калибры делят на элементные и комплексные. Элементные калибры предназначены для контроля отдельных линейных размеров или угловых величин деталей. Комплексные калибры предназначены для одновременного контроля нескольких элементов.

По условиям оценки годности детали калибры делят на нормальные и предельные. При контроле нормальными калибрами годность проверяемых элементов оценивают на основании субъективных ощущений контролирующего (так как нормальный калибр должен быть проходящим без усилия, но и без зазора), или по яркости (при использовании, например, конических калибров), или из просвета при проверке детали шаблонами.

Предельные калибры ограничивают размеры деталей, распределяя их на три группы: годные, брак вследствие перехода за верхнюю границу допуска и брак вследствие перехода за нижнюю границу. С применением предельных калибров требуется менее высокая квалификация рабочего и контролера и значительно повышается объективность процесса контроля.

Предельные калибры изготовляют парно. Один из них называют проходным, а другой непроходным. Для внутренних измерений номинальный размер проходного калибра выполняют по наименьшему, а непроходного — по наибольшему предельным размерам. Для наружных измерений номинальный размер проходного калибра выполняют по наибольшему, а непроходного — по наименьшему предельным размерам (рис. 1).

Проверяемое изделие считают годным, если проходной калибр проходит, а непроходной калибр не проходит в проверяемое изделие. Как исключение, в отдельных случаях, например при контроле резьбы, за счет сбег резьбы калибра допускается частичное вхождение непроходного калибра в изделие.

По технологическому назначению в соответствии с местом и характером использования калибры подразделяют на рабочие и контрольные.

Рабочие калибры используют для контроля деталей на рабочих местах в процессе их изготовления. Этими калибрами пользуются рабочие и контролеры ОТК завода-изготовителя, причем в последнем случае применяют частично изношенные калибры ПР и новые калибры НЕ. Контрольные калибры используют для контроля или регулировки рабочих калибров (только скоб или колец).

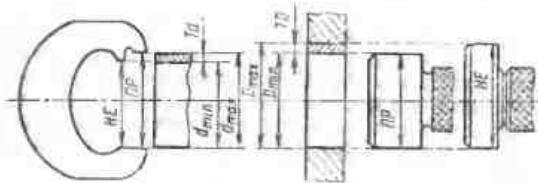


Рис. 1. Схема, показывающая принцип проверки допусков деталей предельными калибрами.

Согласно действующим стандартам калибры имеют следующие обозначения:

- ПР — проходной рабочий калибр;
- НЕ — непроходной рабочий калибр;
- К-ПР — контрольный калибр для проходного рабочего (нового) калибра;
- К-НЕ — контрольный калибр для непроходного рабочего калибра;
- К-И — контрольный калибр для контроля износа проходной стороны рабочего калибра;
- У-ПР — контрольный калибр для припасовки и для регулировки или установки проходных резьбовых колец и скоб;
- У-НЕ — контрольный калибр для припасовки и для регулировки или установки непроходных резьбовых колец и скоб.

Калибры К-ПР, К-НЕ для гладких цилиндрических изделий должны проходить без усилия и без качки, а для резьбовых изделий они служат непроходными при проверке рабочих калибров; калибры У-ПР, У-НЕ являются проходными; калибр К-И — непроходной.

По конструктивным признакам калибры делят на жесткие, регулируемые, односторонние и двусторонние.

По характеру контакта между проверяемым изделием и калибром различают калибры с поверхностным, линейным и точечным контактом.

Основной принцип конструирования калибров. При конструировании калибров соблюдают принцип подобия (принцип Тейлора), согласно которому проходные калибры должны являться прототипом сопрягаемой детали и контролировать одновременно все связанные друг с другом размеры проверяемого изделия, а непроходные — иметь контакт, приближающийся к точечному, для того чтобы проверить один из размеров отдельно.

Такой метод проверки является наиболее надежным с точки зрения требований взаимозаменяемости, особенно при контроле изделий сложной формы, когда необходимы уверенность в том, что отклонения всех составляющих размеров ограничиваются полем суммарного допуска, если эти отклонения не нормированы особо, например отклонения параметров резьбы.

На практике иногда приходится отступать от принципа подобия вследствие неудобства контроля; например, контроль проходным кольцом потребовал бы снятия детали, закрепленной в центрах станка. Поэтому вместо проходных колец применяют многократный контроль проходными скобами с широкими измерительными поверхностями, а вместо штихмасов — непроходные калибры — пробки с малой шириной измеряемых поверхностей.

Маркировка калибров. На калибрах наносят следующую маркировку: номинальный размер изделия, для контроля которого предназначены калибры; условное (буквенное) обозначение предельных отклонений изделия (поле допуска и качество); величину предельных отклонений изделия в миллиметрах (на гладких рабочих калибрах); обозначение калибра; товарный знак завода-изготовителя.

Маркировку наносят на ручках калибров-пробок и на корпусах скоб.

Основные требования к калибрам и правила их эксплуатации: высокая точность изготовления; постоянство рабочих размеров во времени; износостойкость рабочих поверхностей; наибольшая жесткость при наименьшей массе; обеспечение высокой производительности и удобства измерения.

Кроме того, при контроле изделий калибрами необходимо пользоваться только аттестованными калибрами; тщательно очищать калибры и изделия от грязи; проверку деталей калибрами производить при полной остановке станка; применять выдержку калибров рядом с изделиями в течение определенного времени для выравнивания их температуры; не подвергать калибры сильным температурным колебаниям; калибры больших размеров поддерживать руками только за теплоизолирующие накладки; не применять при контроле больших усилий, так как калибры должны входить в отверстие или находить на валы только под действием собственного веса, во избежание деформаций калибров и изделий (это правило не относится к калибрам для размеров свыше 500 мм). Хранить калибры следует в специальной таре и при длительном хранении измерительные поверхности необходимо смазывать бескислотными смазками.

## 2. КАЛИБРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГЛАДКИХ ИЗДЕЛИЙ

**Типы калибров.** Принцип проверки гладких валов и отверстий предельными калибрами показан на рис. 1.

Для контроля валов пользуются главным образом скобами (рис. 2). Наиболее распространены односторонние двухпредельные скобы (рис. 2, а, б), сокращающие время на контроль и расход металла по сравнению с двусторонними (рис. 2, в).

Калибры-пробки для контроля отверстий показаны на рис. 3. Конструкции калибров регламентированы стандартами.

Допуски на изготовление гладких калибров. Допуски на изготовление гладких калибров и контрольных калибров регламентированы СТ СЭВ 157—75.

Номинальные размеры калибров должны соответствовать предельным размерам детали (см. рис. 1).

СТ СЭВ на гладкие калибры устанавливает допуски на изготовление:  $H$  — рабочих калибров (пробок) для отверстий ( $H_s$  — тех же калибров, но со сферическими измерительными поверхностями);  $H_1$  — калибров (скоб) для валов и  $H_p$  — контрольных калибров для скоб (рис. 4, 5). Для квалитетов изделия от IT6 до IT10 включительно допуски  $H_1$  для скоб примерно на 50% больше допусков  $H$  для пробок, что объясняется большей сложностью изготовления скоб. Для квалитетов изделий IT11 и грубее допуски  $H$  и  $H_1$  равны. Допуски для всех типов контрольных калибров  $H_p$  одинаковы.

Установлены допуски на отклонение формы и шероховатость поверхностей калибров.

Допуски на изготовление калибров и отклонения формы их поверхностей, установленные в зависимости от квалитета контролируемой детали, приведены в табл. 1.

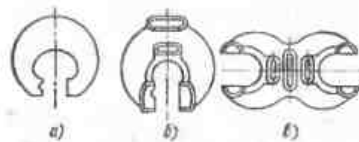


Рис. 2. Основные типы калибров для валов

Установлены допуски на отклонение формы и шероховатость поверхностей калибров.

Допуски на изготовление калибров и отклонения формы их поверхностей, установленные в зависимости от квалитета контролируемой детали, приведены в табл. 1.

Допуски на изготовление калибров и отклонения формы их поверхностей, установленные в зависимости от квалитета контролируемой детали, приведены в табл. 1.

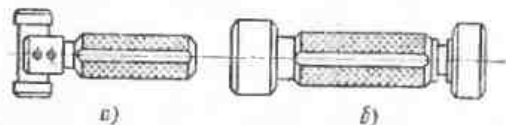


Рис. 3. Основные типы калибров для отверстий  
а — односторонние; б — двусторонние

Допустимая шероховатость поверхностей калибров не должна превышать 10% от допуска на размер калибра, но не более  $Ra = 0,16$  мкм.

Для проходных калибров, которые в процессе контроля изнашиваются, предусматривается поле допуска на их износ.

У всех проходных калибров поля допусков  $H$  ( $H_s$ ) и  $H_1$  сдвинуты внутрь поля допуска изделия на величину  $Z$  для калибров-пробок и  $Z_1$  — калибров-скоб. Допустимый выход размера изношенного проходного калибра за границу поля допуска изделия регламентируется величиной  $Y$  — для контроля отверстий и  $Y_1$  — для контроля вала.

При номинальных размерах свыше 180 мм поле допуска проходного калибра и граница износа проходного калибра сдвигаются внутрь поля допуска изделия детали на величину  $\alpha$  и  $\alpha_1$ .

Расчет исполнительных размеров гладких калибров. Исполнительным называют предельный размер калибра, по которому изготавливают новый калибр. Исполнительным размером скобы служит ее наимень-

ший предельный размер с положительным отклонением, для пробки и контрольного калибра — их наибольший предельный размер с отрицательным отклонением. Таким образом, на чертеже отклонение представляют «в тело» калибра, что обеспечивает максимум металла на изготовление и большую вероятность получения годных калибров.

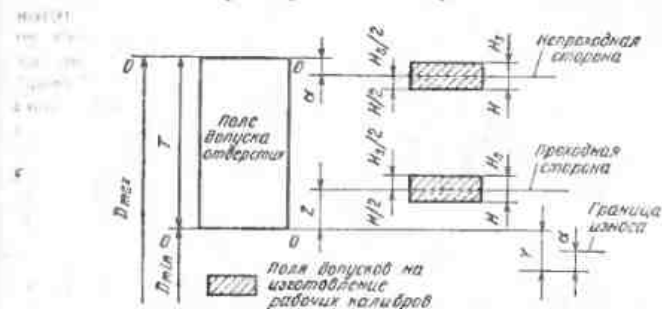


Рис. 4. Схема расположения полей допусков калибров для отверстий

Размеры калибров определяют по формулам, указанным в табл. 2. Ниже даны примеры расчета исполнительных размеров и размеров изношенных калибров.

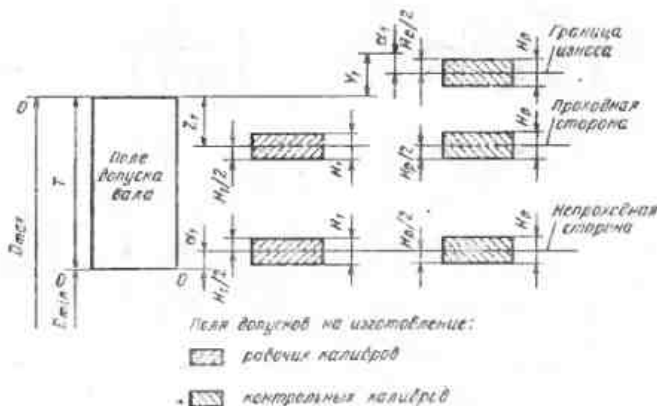


Рис. 5. Схема расположения полей допусков калибров для валов

Пример 1. Определить размеры рабочих калибров-пробок для отверстия 25H8.

По СТ СЭВ 144—75 (см. табл. 1, гл. 4) находим допуск IT8 = 33 мкм и поденным предельное отклонение для контролируемого отверстия:  $ES = +33$ ;  $EI = 0$ . Следовательно, наибольший и наименьший предельные размеры отверстия  $D_{\max} = 25,033$  мм;  $D_{\min} = 25,000$  мм.

1. Допуски и отклонения гладких калибров, мкм (по СТ СЭВ 157—75)

Квали- теты допусков изделий	Обозна- чения	Интервалы размеров, мм						
		До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80
6	Z	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5
	Y	1	1	1	1,5	1,5	2	2
	$\alpha, \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0
	Z <sub>1</sub>	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4
	Y <sub>1</sub>	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3
7	H <sub>1</sub>	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3
	H <sub>s</sub>	2	2,5	2,5	3	4	4	5
	H <sub>p</sub>	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2
	Z, Z <sub>1</sub>	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4
	Y, Y <sub>1</sub>	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3
8	$\alpha, \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0
	H <sub>1</sub>	2	2,5	2,5	3	4	4	5
	H <sub>s</sub>	—	—	1,5	2	2,5	2,5	3
	H <sub>p</sub>	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2
	Z, Z <sub>1</sub>	2	3	3	4	5	6	7
9	Y, Y <sub>1</sub>	3	3	3	4	4	5	5
	$\alpha, \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0
	H <sub>1</sub>	2	2,5	2,5	3	4	4	5
	H <sub>s</sub>	3	4	4	5	6	7	8
	H <sub>p</sub>	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3
10	Z, Z <sub>1</sub>	5	6	7	8	9	11	13
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0
	$\alpha, \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0
	H <sub>1</sub>	2	2,5	2,5	3	4	4	5
	H <sub>s</sub>	3	4	4	5	6	7	8
11	H <sub>p</sub>	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3
	Z, Z <sub>1</sub>	10	12	14	16	19	22	25
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0
	$\alpha, \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0
	H <sub>1</sub>	4	5	6	8	9	11	13
12	H <sub>s</sub>	—	—	4	5	6	7	8
	H <sub>p</sub>	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3
	Z, Z <sub>1</sub>	10	12	14	16	19	22	25
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0
	$\alpha, \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0
13	H <sub>1</sub>	4	5	6	8	9	11	13
	H <sub>s</sub>	—	—	4	5	6	7	8
	H <sub>p</sub>	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3
	Z, Z <sub>1</sub>	20	24	28	32	36	42	48
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0
14 **	$\alpha, \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0
	H <sub>1</sub>	10	12	15	18	21	25	30
	H <sub>s</sub>	—	—	9	11	13	16	19
	H <sub>p</sub>	2	2,5	2,5	3	4	4	5
	Z, Z <sub>1</sub>	20	24	28	32	36	42	48
15 **	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0
	$\alpha, \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0
	H <sub>1</sub>	10	12	15	18	21	25	30
	H <sub>s</sub>	—	—	9	11	13	16	19
	H <sub>p</sub>	2	2,5	2,5	3	4	4	5
16 **	Z, Z <sub>1</sub>	40	48	56	64	72	80	90
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0
	$\alpha, \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0
	H <sub>1</sub>	10	12	15	18	21	25	30
	H <sub>s</sub>	—	—	9	11	13	16	19
17	H <sub>p</sub>	2	2,5	2,5	3	4	4	5
	Z, Z <sub>1</sub>	40	48	56	64	72	80	90
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0
	$\alpha, \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0
	H <sub>1</sub>	10	12	15	18	21	25	30
Квали- теты допусков изделий	Обозна- чения	Интервалы размеров, мм						Допуск на форму ка-
		Св. 80 до 120	Св. 120 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	
6	Z	3	4	5	6	7	9	IT1 IT2 IT1
	Y	3	3	4	5	6	7	
	$\alpha, \alpha_1$	0	0	2	3	4	5	
	Z <sub>1</sub>	5	6	7	8	10	11	
	Y <sub>1</sub>	4	4	5	6	7	8	
7	H <sub>1</sub>	4	5	7	8	9	10	
	H <sub>s</sub>	6	8	10	12	13	15	
	H <sub>p</sub>	2,5	3,5	4,5	6	7	8	
	Z, Z <sub>1</sub>	5	6	7	8	10	11	
	Y, Y <sub>1</sub>	4	4	6	7	8	9	
171	$\alpha, \alpha_1$	0	0	3	4	6	7	
	H <sub>1</sub>	6	8	10	12	13	15	
	H <sub>s</sub>	4	5	7	8	9	10	
	H <sub>p</sub>	2,5	3,5	4,5	6	7	8	
	Z, Z <sub>1</sub>	5	6	7	8	10	11	
172	Y, Y <sub>1</sub>	4	4	6	7	8	9	
	$\alpha, \alpha_1$	0	0	3	4	6	7	
	H <sub>1</sub>	6	8	10	12	13	15	
	H <sub>s</sub>	4	5	7	8	9	10	
	H <sub>p</sub>	2,5	3,5	4,5	6	7	8	
171	Z, Z <sub>1</sub>	5	6	7	8	10	11	
	Y, Y <sub>1</sub>	4	4	6	7	8	9	
	$\alpha, \alpha_1$	0	0	3	4	6	7	
	H <sub>1</sub>	6	8	10	12	13	15	
	H <sub>s</sub>	4	5	7	8	9	10	
171	H <sub>p</sub>	2,5	3,5	4,5	6	7	8	

Продолжение табл. 1

Продолжение табл. 1

Классификация допусков изделий	Обозначения	Интервалы размеров, мм						Допуск на форму калибра
		Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	
8	Z, Z <sub>1</sub>	3	9	12	14	16	18	IT2 IT3 IT1
	Y, Y <sub>1</sub>	6	6	7	9	9	11	
	α, α <sub>1</sub>	0	0	4	6	7	9	
	H, H <sub>1</sub>	6	8	10	12	13	15	
	H <sub>s</sub> , H <sub>p</sub>	10	12	14	16	18	20	
9	Z, Z <sub>1</sub>	15	18	21	24	28	32	IT2 IT3 IT1
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	
	α, α <sub>1</sub>	0	0	4	6	7	9	
	H, H <sub>1</sub>	6	8	10	12	13	15	
	H <sub>s</sub> , H <sub>p</sub>	10	12	14	16	18	20	
10	Z, Z <sub>1</sub>	15	18	24	27	32	37	IT2 IT3 IT1
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	
	α, α <sub>1</sub>	0	0	7	9	11	14	
	H, H <sub>1</sub>	6	8	10	12	13	15	
	H <sub>s</sub> , H <sub>p</sub>	10	12	14	15	18	20	
11	Z, Z <sub>1</sub>	28	39	40	45	50	55	IT4 IT3 IT1
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	
	α, α <sub>1</sub>	0	0	10	15	15	20	
	H, H <sub>1</sub>	15	18	20	23	25	27	
	H <sub>s</sub> , H <sub>p</sub>	10	12	14	16	18	20	
12	Z, Z <sub>1</sub>	28	32	45	50	65	70	IT4 IT3 IT1
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	
	α, α <sub>1</sub>	0	0	15	20	20	35	
	H, H <sub>1</sub>	15	18	20	23	25	27	
	H <sub>s</sub> , H <sub>p</sub>	10	12	14	16	18	20	
13	Z, Z <sub>1</sub>	54	60	60	90	100	110	IT5 IT5 IT2
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	
	α, α <sub>1</sub>	0	0	25	35	45	55	
	H, H <sub>1</sub>	35	40	46	52	57	63	
	H <sub>s</sub> , H <sub>p</sub>	22	25	29	32	36	40	
14**	Z, Z <sub>1</sub>	54	60	100	110	125	145	IT5 IT5 IT2
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	
	α, α <sub>1</sub>	0	0	45	55	70	90	
	H, H <sub>1</sub>	35	40	46	52	57	63	
	H <sub>s</sub> , H <sub>p</sub>	22	25	29	32	36	40	

Продолжение табл. 1

Классификация допусков изделий	Обозначения	Интервалы размеров, мм						Допуск на форму калибра
		Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	
15**	Z, Z <sub>1</sub>	100	110	170	190	210	240	IT5 IT5 IT2
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	
	α, α <sub>1</sub>	0	0	70	90	110	140	
	H, H <sub>1</sub>	35	40	46	52	57	63	
	H <sub>s</sub> , H <sub>p</sub>	22	25	29	32	36	40	
16**	Z, Z <sub>1</sub>	100	110	210	240	280	320	IT5 IT5 IT2
	Y, Y <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	
	α, α <sub>1</sub>	0	0	110	140	180	220	
	H, H <sub>1</sub>	35	40	46	52	57	63	
	H <sub>s</sub> , H <sub>p</sub>	22	25	29	32	36	40	
17		6	8	10	12	15	15	IT2

\* К размерам до 6 мм не относится.  
 \*\* К размерам до 1 мм не относятся.  
 Примечание. Числовые значения стандартных допусков принимают по СТ СЭВ 145—75.

По табл. 1 для IT8 и интервала размеров 18—30 мм находим данные (в мм) для расчета размеров калибров: Z = 5; Y = 4; α = 0; H = 4.  
 Схема расположения полей допусков приведена на рис. 6. Исчисленные размеры калибров-пробок определяют по соответствующим формулам (см. табл. 2). В нашем случае наибольший предельный размер новой пробки

$$PP_{\max} = D_{\min} + Z + \frac{H}{2} = 25,000 + 0,005 + \frac{0,004}{2} = 25,007 \text{ мм.}$$

Исполнительный размер калибра ПР 25,007 ± 0,004.  
 Наименьший размер изношенного проходного — пробки ПР

$$PP_{\min} = D_{\min} - Y = 25,000 - 0,004 = 24,996 \text{ мм.}$$

Когда калибр ПР будет иметь этот размер, его нужно изъять из эксплуатации.  
 Наибольший размер непроходного нового калибра-пробки HE

$$HE_{\max} = D_{\max} + \frac{H}{2} = 25,033 + \frac{0,004}{2} = 25,035 \text{ мм.}$$

Исполнительный размер калибра HE 25,035 ± 0,004.  
 Пример 2. Определить размеры рабочих калибров-пробок для отверстия 220P7.

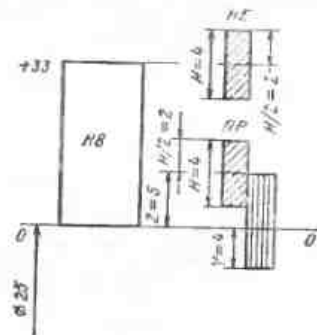


Рис. 6. Схема распределения полей допусков калибров для размера 25H8



г. Формулы для определения исполнительных размеров калибров

Калибр		Номинальный размер изделия, мм			
		До 180			
		Рабочий калибр		Контрольный калибр	
		Размер	Допуск	Размер	Допуск
Для отверстия	Проходная сторона новая	$D_{\min} + Z$	$\pm \frac{H}{2}$	—	—
	Проходная сторона изношенная	$D_{\min} - Y$	—	—	—
	Непроходная сторона	$D_{\max}$	$\pm \frac{H}{2}$ или $\pm \frac{H_s}{2}$	—	—
Для вала	Проходная сторона новая	$D_{\max} - Z_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$	$D_{\max} - Z_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$
	Проходная сторона изношенная	$D_{\max} + Y_1$	—	$D_{\max} + Y_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$
	Непроходная сторона	$D_{\min}$	$\pm \frac{H_1}{2}$	$D_{\min}$	$\pm \frac{H_p}{2}$

Калибр		Номинальный размер изделия, мм			
		Св. 180 до 500			
		Рабочий калибр		Контрольный калибр	
		Размер	Допуск	Размер	Допуск

Для отверстия	Проходная сторона новая	$D_{\min} + Z$	$\pm \frac{H}{2}$ или $\pm \frac{H_s}{2}$	—	—
	Проходная сторона изношенная	$D_{\min} - Y + \alpha$	—	—	—
	Непроходная сторона	$D_{\max} - \alpha$	$\pm \frac{H}{2}$ или $\pm \frac{H_s}{2}$	—	—
Для вала	Проходная сторона новая	$D_{\max} - Z_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$	$D_{\max} - Z_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$
	Проходная сторона изношенная	$D_{\max} + Y_1 - \alpha_1$	—	$D_{\max} + Y_1 - \alpha_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$
	Непроходная сторона	$D_{\min} + \alpha_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$	$D_{\min} + \alpha_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$

Примечание. При подсчете исполнительных размеров калибров (наибольших для отверстий и наименьших для валов) необходимо пользоваться следующим правилом округления: округление размеров рабочих калибров (наибольших для отверстий и наименьших для валов) для изделий квалитетов 15—17 следует производить до целого микрометра; для изделий квалитетов 6—14 и всех контрольных калибров следует округлять до величин, кратных 0,5 мкм. При этом допуск на калибры сохраняется; размеры, оканчивающиеся на 0,25 и 0,75 мкм, следует округлять до величины, кратной 0,5 мкм, в сторону сокращения производственного допуска изделия.

По СТ СЭВ 144—75 (см. табл. 1, гл. 4) находим допуск и предельные отклонения для контролируемого отверстия:  $IT7 = 46$  мкм;  $ES = -33$  мкм;  $EI = -79$  мкм. Следовательно, наибольший и наименьший предельные размеры отверстия будут  $D_{\max} = 221,967$  мм;  $D_{\min} = 221,921$  мм.

По табл. 1 для  $IT7$  и интервала номинальных размеров 160—250 мм находим данные (в мкм) для расчета калибров:  $Z = 7$ ;  $Y = 6$ ;  $\alpha = 3$ ;  $H = 10$ .

Схема расположения полей допусков приведена на рис. 7. Предельные размеры калибров-пробок определяются по соответствующим формулам (см. табл. 2). В нашем случае наибольший предельный размер новой пробки

$$PP_{\max} = D_{\min} + Z + \frac{H}{2} = 221,921 + 0,007 + \frac{0,010}{2} = 221,933 \text{ мм.}$$

Исполнительный размер калибра ПР 221,933 $_{-0,010}$

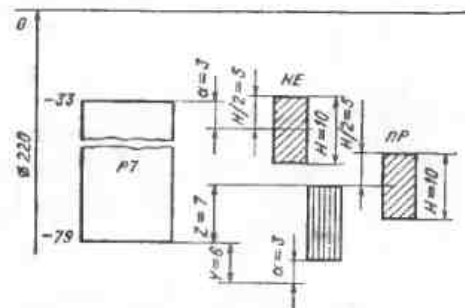


Рис. 7. Схема расположения полей допусков калибров для размера 220P7

Наименьший размер изношенного проходного калибра — пробки ПР

$$PP_{\min} = D_{\min} - Y + \alpha = 221,921 - 0,006 + 0,003 = 221,918 \text{ мм.}$$

Когда калибр ПР будет иметь этот размер, его нужно изъять из эксплуатации.

Наибольший размер непроходного нового калибра-пробки НЕ

$$NE_{\max} = D_{\max} - \alpha + \frac{H}{2} = 221,967 - 0,003 + \frac{0,010}{2} = 221,969 \text{ мм.}$$

Исполнительный размер калибра НЕ 221,969 $_{-0,010}$

Пример 3. Определить размеры рабочих калибров-скоб для вала 15h6. По СТ СЭВ 144—75 (см. табл. 1, гл. 4) находим допуск  $IT6 = 11$  мкм и подсчитываем предельные отклонения:  $es = 0$ ;  $ei = -11$  мкм. Следовательно, предельные размеры вала будут:  $D_{\max} = 15,000$  мм;  $D_{\min} = 14,989$  мм.

По табл. 1 для  $IT6$  и интервала номинальных размеров 10—18 мм находим данные (в мкм) для расчета размеров калибров:  $\alpha = 0$ ;  $Z_1 = 2,5$ ;  $Y_1 = 2$ ;  $H_1 = 3$ .

Предельные размеры калибров-скоб определяются по соответствующим формулам (см. табл. 2).

Схема расположения полей допусков приведена на рис. 8. В нашем случае наименьший размер проходного нового калибра-скобы

$$PP_{\min} = D_{\max} - Z_1 - \frac{H_1}{2} = 15,000 - 0,0025 - \frac{0,003}{2} = 14,996 \text{ мм.}$$

Исполнительный размер калибра-скобы ПР 14,996 $_{+0,003}$

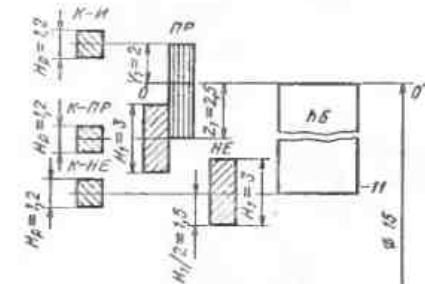
Наибольший размер изношенного проходного калибра-скобы

$$PP_{\max} = D_{\max} + Y_1 = 15,000 + 0,002 = 15,002 \text{ мм.}$$

Когда калибр ПР будет иметь этот размер, его нужно изъять из эксплуатации. Наименьший размер непроходного калибра-скобы

$$HE_{\min} = D_{\min} - \frac{H_1}{2} = 14,989 - \frac{0,003}{2} = 14,9875 \text{ мм.}$$

Исполнительный размер калибра-скобы HE 14,9875+0,003.  
Пример 4. Определить размеры контрольных калибров для рабочих калибров-скоб предназначенных для вала 15/6 (см. пример 3).



По табл. 1 для 175 и интервала номинальных размеров 10—18 мм находим данные (в мкм) для расчета размеров конгркалибров:  $\alpha_1 = 0$ ;  $Z_1 = 2,5$ ;  $Y_1 = 2$ ;  $H_p = 1,2$ .

Предельные размеры конгркалибров (схемы расположения полей допусков приведены на рисунке 8) определяют по соответствующим формулам (см. табл. 2).

В нашем случае

$$K \cdot PP_{\max} = D_{\max} - Z_1 + \frac{H_p}{2} = 15,000 - 0,0025 + \frac{0,0012}{2} = 14,9981 \approx 14,998 \text{ мм.}$$

Рис. 8. Схема расположения полей допусков для размера 15/6

Исполнительный размер конгркалибра К-ПР 14,998-0,0012.  
Исполнительный размер конгркалибра К-НЕ 14,9895-0,0012.  
Исполнительный размер конгркалибра К-Н 15,0025-0,0012.

Для упрощения определения размеров гладких рабочих калибров можно пользоваться ГОСТ 21401—75.

### 3. КАЛИБРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕЗЬБЫ

**Типы калибров.** Принципиальная схема проверки резьбы калибрами показана на рис. 9. Для контроля наружного диаметра болта  $d$  и внутреннего диаметра гайки  $D_1$  применяют гладкие предельные калибры-скобы для болтов и пробки для гаек. Средние диаметры болта  $d_2$  и гайки  $D_2$ , а также внутренний диаметр болта  $d_1$  и наружный диаметр гайки  $D$  проверяют одновременно с проверкой погрешностей половины угла профиля  $\Delta\alpha/2$  и накопленной на длине свинчивания погрешностью шага  $\Delta P_n$ .

Проходными резьбовыми калибрами при полном свинчивании их с деталями устанавливают, что погрешности  $\Delta\alpha/2$  и  $\Delta P_n$  скомпенсированы погрешностью среднего диаметра, а также то, что для болта размер  $d_1$  не более установленного предельного размера, а для гайки размер  $D$  не менее установленного предельного размера. Проходными калибрами, таким образом, проверяют резьбу комплексно.

Непроходными калибрами проверяют средние диаметры болта и гайки и устанавливают, что размер  $d_2$  не меньше, а размер  $D_2$  не больше установленных предельных размеров.

\* Правило округления размеров калибров — см. примечание к табл. 2.

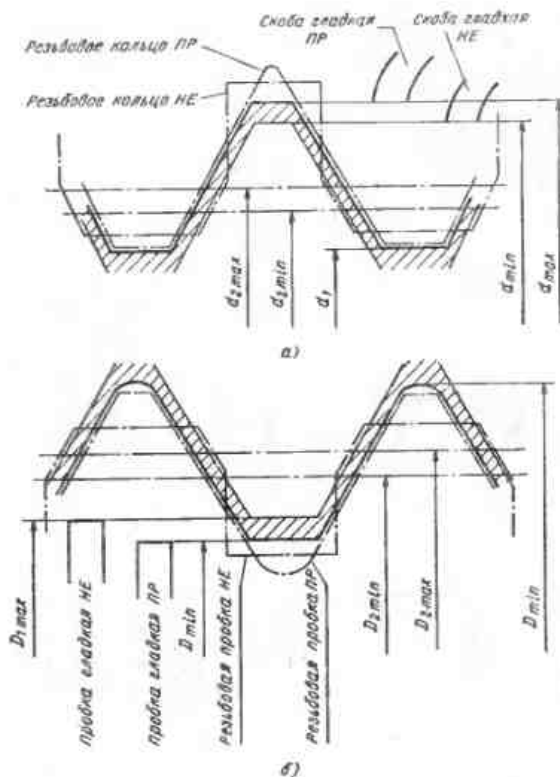


Рис. 9. Схема проверки резьбы калибрами: а — болта; б — гайки

Проходные резьбовые калибры в соответствии с принципом Тейлора (принципом подобия) имеют полный профиль и длину, примерно равную длине свинчивания резьбы, а непроходные калибры имеют укороченный профиль.

Полный профиль — профиль резьбы калибров, боковые стороны которого соответствуют боковым сторонам проверяемой резьбы (рис. 10). Форма и размеры канавок  $b_1$  и  $b_2$  приведены в табл. 3.

Укороченный профиль — профиль резьбы калибров, боковые стороны которого меньше боковых сторон проверяемой резьбы (рис. 11).

Укороченный профиль получают у пробки путем уменьшения наружного диаметра и прорезания канавки у впадин по внутреннему диаметру резьбы, у колец и скоб — путем увеличения внутреннего диаметра и прорезания канавки у впадин по наружному диаметру резьбы.

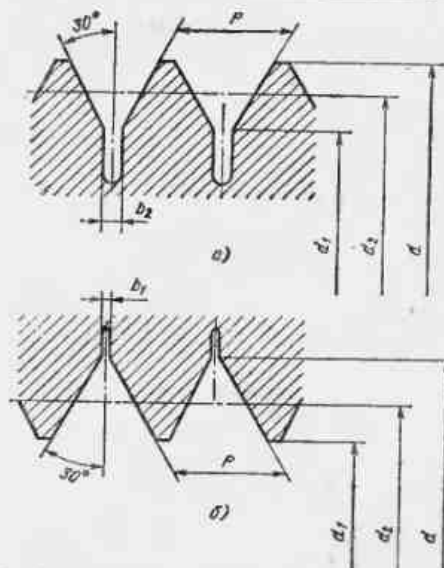


Рис. 10. Полный профиль резьбы калибров:  
а — пробки; б — кольца и скобы;  $d_1$ ,  $d_2$  и  $d_3$  — соответственно наружный, внутренний и средний диаметры

3. Значения  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $d_2$ ,  $l_2$ , мм

Шаг $P$ , мм	$b_1$	$b_2$	$F_2$	$b_2$		$l_2$	
				Номинал	Предельные отклонения ±	Наиб.	Наим.
0,60	—	0,15	—	—	—	—	—
0,70	—	0,17	—	—	—	—	—
0,75	—	0,19	—	—	—	—	—
0,80	—	0,20	—	—	—	—	—
1,00	—	0,25	—	—	—	—	—
1,25	0,15	0,31	0,250	0,30	0,04	0,48	0,27
1,50	0,19	0,37	0,300	0,40	0,04	0,55	0,35
1,75	0,22	0,44	0,350	0,45	0,05	0,65	0,40
2,00	0,25	0,50	0,400	0,50	0,05	0,73	0,47
2,50	0,32	0,61	0,375	0,80	0,08	0,75	0,50
3,00	0,40	0,73	0,350	1,00	0,08	0,96	0,54
3,50	0,48	0,88	0,525	1,10	0,08	1,08	0,67
4,00	0,50	1,00	0,600	1,30	0,10	1,25	0,74
4,50	0,55	1,10	0,450	1,70	0,10	1,16	0,64
5,00	0,60	1,25	0,500	1,90	0,10	1,26	0,74
5,50	0,70	1,10	0,550	2,10	0,10	1,36	0,84
6,00	0,80	1,50	0,600	2,30	0,10	1,46	0,94

Примечания. 1. Значение  $F_1 = 0,1P$ .  
2. Вместо размера канавки  $b_2$  и ее несоосности допускается контролировать высоту профиля  $l_2$ .

Величины  $F_1$  (головка) и  $F_2$  (ножка) являются справочными. Они служат для подсчета внутреннего и наружного диаметров резьбы калибров с укороченным профилем и непосредственному контролю не подлежат.

Канавки для образования укороченного профиля шириной  $b_2$  должны прорезаться у калибров начиная с шага 1,25 мм. При меньших шагах резьбы канавки могут прорезаться, только если это требуется технологическим процессом обработки калибров.

Назначение и характеристика калибров для проверки метрических резьб изделий степеней точности 4—8 по ГОСТ 16093—70 диаметром от 1 до 600 мм и степеней точности от 6—10 по ГОСТ 11709—71 для диаметров от 1 до 180 мм приведена табл. 4.

Допуски на изготовление резьбовых калибров. Для упрощения таблиц предельных отклонений калибров введена условная нумерация для шагов и номинальных диаметров резьб (табл. 5). Таким образом, для нахождения предельных отклонений калибров прежде всего необходимо по табл. 5 найти номер соответствующей строки, для которой и определяются предельные отклонения по табл. 6—15.

Допуски среднего диаметра. Расположение полей допусков среднего диаметра калибров показано на рис. 12.

Предельные отклонения среднего диаметра калибров и контркалибров приведены в табл. 6—10.

Размер среднего диаметра резьбовых колец и скоб определяется размерами контрольных пробок, по которым кольца и скобы проверяют или регулируют (устанавливают). Поля допусков в табл. 7 установлены только для координирования полей допусков контрольных пробок.

Для проверки проходными калибрами изделий контролерами ОТК предприятия-изготовителя, а также представителями заказчика, если это не оговорено специальным соглашением, рекомендуется пользоваться не новыми, а частично изношенными калибрами. Эти калибры должны выбраковываться, когда износ их дойдет до установленного предела. Новые калибры должны применяться для контроля изделий в процессе их изготовления.

Для проверки непроходными калибрами резьбы изделий контролерами ОТК предприятия-изготовителя, а также представителями заказчика рекомендуется пользоваться новыми калибрами.

В спорных случаях правильность размеров изделий должна устанавливаться проверкой их калибрами с размерами, близкими к гра-

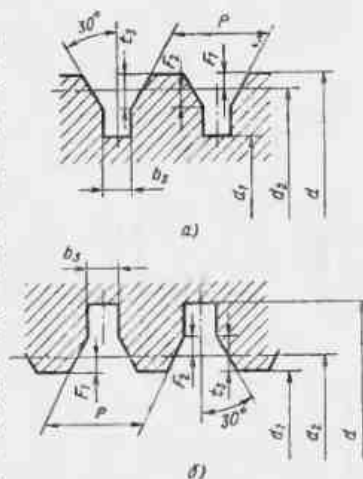


Рис. 11. Укороченный профиль резьбы калибров:  
а — пробки; б — кольца и скобы;  $d_1$ ,  $d_2$  и  $d_3$  — соответственно наружный, внутренний и средний диаметры

4. Назначение и характеристика калибров для метрических резьб по ГОСТ 18107—72

Наименование	Условное обозначение	Профиль резьбы	Проверяемый элемент резьбы	Признак годности проверяемых размеров
А. Калибры для гаек (внутренняя резьба)				
Проходная рабочая резьбовая пробка (или проходная сторона вусторонней резьбовой пробки)	ПР	Полный	Наружный и средний диаметры гайки	Калибр должен свободно ввинчиваться в проверяемую гайку
Непроходная резьбовая пробка (или непроходная сторона двусторонней резьбовой пробки *)	НЕ	Укороченный	Средний диаметр гайки	Калибр, как правило, не должен ввинчиваться в гайку **
Проходная гладкая пробка	—	—	Внутренний диаметр гайки	Калибр должен свободно проходить
Непроходная гладкая пробка	—	—	Внутренний диаметр гайки	Калибр не должен проходить *
Б. Калибры для болтов (наружная резьба)				
Проходное резьбовое кольцо или скоба	ПР	Полный	Внутренний и внешний диаметры	Калибр должен свободно навинчиваться на проверяемый болт
Непроходная резьбовая скоба или кольцо **	НЕ	Укороченный	Средний диаметр болта	Калибр, как правило, не должен проходить по резьбе **
Проходная гладкая скоба	—	—	Наружный диаметр	Калибр должен свободно проходить

Непроходная гладкая скоба	—	—	Наружный диаметр болта	Калибр не должен проходить *
---------------------------	---	---	------------------------	------------------------------

В. Контрольные калибры

Проходная резьбовая контрольная пробка для нового регулируемого проходного резьбового кольца **	КПР-ПР	Полный	Средний и наружный диаметры кольца	Контрольный калибр должен свинчиваться
Непроходная резьбовая контрольная пробка для нового регулируемого проходного резьбового кольца (скобы) **	КПР-НЕ	Укороченный	Средний диаметр кольца	Контрольный калибр не должен свинчиваться *
Непроходная резьбовая пробка для контроля износа регулируемого проходного резьбового кольца (скобы) **	К-И	Укороченный	—	Контрольный калибр не должен свинчиваться с проверяемым кольцом (скобой) **
Проходная резьбовая контрольная пробка для нового регулируемого проходного резьбового кольца (скобы) **	КНЕ-ПР	Полный	—	Контрольный калибр должен свинчиваться
Непроходная резьбовая контрольная пробка для нового регулируемого проходного резьбового кольца (скобы)	КНЕ-НЕ	Полная	—	Контрольный калибр не должен свинчиваться с проверяемым кольцом (скобой) **
Пробка для контроля износа регулируемого и регулируемого проходного кольца	КИ-НЕ	Полная	—	Контрольный калибр не должен свинчиваться с проверяемым кольцом (скобой) *

Продолжение табл. 4

Наименование	Условное обозначение	Профиль резьбы	Проверяемый элемент резьбы	Признак годности проверенных размеров
Установочная пробка для регулируемого проходного резьбового кольца	У-ПР	Полная	Средняя диаметры скобы	Контрольный калибр должен свинчиваться с кольцом ПР (резьбовая скоба проходит)
Установочная пробка для регулируемого проходного резьбового кольца	У-НЕ	Укороченная	—	Контрольный калибр должен свинчиваться с кольцом НЕ (резьбовые скобы не ходят)

Примечания. 1. Для контроля рабочих пробок контрольные не предусмотрены. 2. Контрольные КПр-ПР, КПр-НЕ, КНЕ-ПР, КНЕ-НЕ применяются только для изготовления калибров при изготовлении колец и не входят в комплект эксплуатационных калибров, а поэтому упомянутые калибры заказчику не поставляются.

3. Предельные отклонения приемных калибров ГОСТ 18107—72 не устанавливаются. 4. Длина резьбы проходных рабочих калибров должна составлять не менее 0,8 длины свинчивания резьбы. Длина резьбы непроходных калибров должна составлять не менее трех полных витков.

5. Вследствие возможности случаев неправильной оценки непроходными резьбовыми калибрами годности резьбы с малыми шагами рекомендуется применять непроходные резьбовые пробки для резьбы с допусками внутреннего диаметра по степеням точности 5, 6, 7, начиная с шага 0,4 мм; по степеням точности 8 и 9, начиная с шага 0,8 мм, а непроходные резьбовые кольца для резьбы с допусками наружного диаметра по степеням точности 4, 5, начиная с шага 0,4 мм; для резьбы по степеням точности 8, начиная с шага 1, мм; и по степеням точности 9 и 10 — с шага 1,25 мм.

6. Допускается свинчивание пробки НЕ до двух оборотов (у скобов резьбы с каждой из сторон). При проверке коротких резьб (до четырех витков) свинчивание пробки НЕ допускается до двух оборотов с одной стороны или в сумме с двух сторон.

7. Допускается вхождение на один шаг. 8. Резьбовая скоба, как правило, не должна проходить по резьбе, за исключением первых двух витков. При проверке коротких резьб (до трех витков) прохождение скобы не допускается. Резьбовое кольцо, как правило, не должно входить на один шаг. Допускается ввинчивание кольца НЕ до двух оборотов. При проверке коротких резьб (до трех витков) ввинчивание кольца не допускается.

9. Допускается прохождение через первый виток резьбы. 10. Контрольные КПр-ПР и КНЕ-ПР устанавливаются по шим регулируемых рабочих резьбовых скоб ПР и НЕ. В случае сомнений в правильности установки производится дополнительная проверка вторым контрольным КПр-НЕ для проходных и КНЕ-НЕ для непроходных регулируемых колец и скоб.

11. Допускается частичное свинчивание, но не более чем на один оборот с каждой стороны кольца.

5. Принятые номера строк для шагов и номинальных диаметров резьбы

Шаг P, мм	Номинальный диаметр резьбы d, мм	Принятый № строки	Шаг P, мм	Номинальный диаметр резьбы d, мм	Принятый № строки
0,20	От 1,0 до 1,4	1	1,50	Св. 5,6 до 45,0	22
0,20	Св. 1,4 » 2,8	2	1,50	» 45,0 » 90,0	23
0,25	От 1,0 » 2,8	3	1,50	» 90,0 » 180,0	24
0,30	От 1,0 » 1,4	4	1,75	» 11,2 » 22,4	25
0,35	Св. 1,4 » 2,8	5	2,00	» 11,2 » 22,4	26
0,35	» 2,8 » 5,6	6	2,00	» 22,4 » 180,0	27
0,40	» 1,4 » 2,8	7	2,00	» 180,0 » 355,0	28
0,45	» 1,4 » 2,8	8	2,50	» 11,2 » 22,4	29
0,50	» 2,8 » 5,6	9	3,00	» 22,4 » 45,0	30
0,50	» 5,6 » 22,4	10	3,00	» 45,0 » 180,0	31
0,60	» 2,8 » 5,6	11	3,00	» 180,0 » 355,0	32
0,70	» 2,8 » 5,6	12	3,50	» 22,4 » 45,0	33
0,75	» 2,8 » 5,6	13	4,00	» 22,4 » 90,0	34
0,75	» 5,6 » 11,2	14	4,00	» 90,0 » 180,0	35
0,75	» 11,2 » 45,0	15	4,00	» 180,0 » 600,0	36
0,80	» 2,8 » 5,6	16	4,50	» 22,4 » 45,0	37
1,00	» 5,6 » 22,4	17	5,00	» 45,0 » 90,0	38
1,00	» 22,4 » 45,0	18	5,50	» 45,0 » 90,0	39
1,00	» 45,0 » 90,0	19	6,00	» 45,0 » 180,0	40
1,25	» 5,6 » 11,2	20	6,00	» 180,0 » 355,0	41
1,25	» 11,2 » 22,4	21	6,00	» 355,0 » 600,0	42

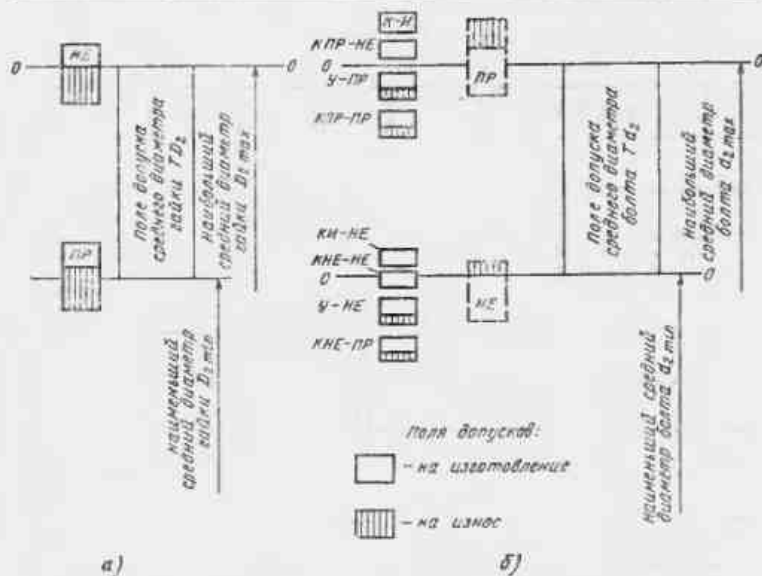


Рис. 12. Схема расположения полей допусков среднего диаметра резьбы калибров для проверки: а — гайки; б — болтов

6. Предельные отклонения среднего диаметра пробок ПР, НЕ, мкм

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	Пробки ПР					
	Степени точности среднего диаметра резьбы гайки					
	4, 5			6, 7		
	В	Н	И	В	Н	И
1	+3	-3	-8	+5,5	-1,5	-7,5
2, 3, 4						
5, 6, 7, 8						
9	+5,5	-1,5	-7,5	+10,5	+1,5	-6,5
10, 11, 12, 13, 16						
14, 15, 17, 20, 21	+10,5	+1,5	-6,5	+17,5	+6,5	-5,5
18, 19, 22, 25						
23, 24, 26, 27, 29	+17,5	+6,5	-5,5	+23	+9	-5
28, 30, 31, 33, 34, 37						
32, 35, 36, 38, 39, 40	+23	+9	-5	+33	+15	-3
41, 42						
Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	Пробки НЕ					
	Степени точности среднего диаметра резьбы гайки					
	4			5		
	В	И	И	В	И	И
1	+6	-3	+6	-3	+7	-4
2, 3, 4						
5, 6, 7, 8			+7	-4		
9	+7	-4			+9	-5
10, 11, 12, 13, 16					+9	-5
14, 15, 17, 20, 21	+9	-5	+9	-5	+11	-6
18, 19, 22, 25			+11	-6	+14	-8

Продолжение табл. 6

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	Пробки НЕ					
	Степени точности среднего диаметра резьбы гайки					
	4		5		6	
	В	И	В	И	В	И
23, 24, 26, 27, 29	+11	-6	+11	-6	+14	-8
28, 30, 31, 33, 34, 37			+14	-8		+18
32, 35, 36, 38, 39, 40	+14	-8			+18	-10
41, 42			+18	-10		+22

Примечания: 1. Предельные отклонения среднего диаметра пробки ПР отсчитывают от наименьшего среднего диаметра гайки, а пробки НЕ — от наибольшего среднего диаметра гайки.  
 2. Соответствие принятого номера строки шагу и номинальному диаметру резьбы приведено в табл. 5.  
 3. Предельные отклонения обозначены: В — верхнее, Н — нижнее, И — изношенных калибров.  
 4. Нижние отклонения пробок НЕ равны нулю.  
 5. Предельные отклонения изношенных калибров НЕ — рекомендуемые.

7. Предельные отклонения среднего диаметра колец и скоб ПР, НЕ, мкм

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	Кольца и скобы ПР					
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта					
	4			6, 7, 8		
	В	Н	И	В	Н	И
1, 2				+6	0	+14
3, 4, 5	+8	0	+14			
6, 7, 8, 9				+7	-3	+14
10, 11, 12, 13, 14, 16	+7	-3	+14	+5	-9	+14
15, 17, 18, 20						
19, 21, 22, 23, 25, 26	+5	-9	+14	+1	-17	+13
24, 29, 30, 37, 38						
28, 31, 32, 33, 34, 35	+1	-17	+13	-0,5	-23,5	+13,5
36, 39, 40, 41						
42	-0,5	-23,5	+13,5	-5	-35	+13

Продолжение табл. 7

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	Кольца и скобы НЕ							
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта							
	4		6		7		8	
	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
1, 2			-8	+3	-10	+4	-10	+4
3, 4, 5	-8	+3	-10	+4			-14	+5
6, 7, 8, 9					-14	+5		
10, 11, 12, 13, 14, 16	-10	+4	-14	+5			-18	+6
15, 17, 18, 20					-18	+6		
19, 21, 22, 23, 25, 26	-14	+5	-18	+6			-23	+8
24, 29, 30, 37, 38					-23	+8		
28, 31, 32, 33, 34, 35	-18	+6	-23	+8			-30	+10
36, 39, 40, 41					-30	+10		
42	-23	+8	-30	+10			-38	+12

Примечания. 1. Отклонения для колец и скоб даны только для координированных полей допусков контрольных пробок, по которым кольца и скобы проверяют или регулируют (устанавливают).

2. Предельные отклонения среднего диаметра колец ПР отсчитывают от наибольшего среднего диаметра резьбы болта, а колец НЕ — от наименьшего среднего диаметра резьбы болта.

3. Соответствие принятого номера строки шагу и номинальному диаметру резьбы приведено в табл. 5.

4. Предельные отклонения обозначены: В — верхнее; Н — нижнее; И — изношенных калибров.

5. Верные отклонения колец и скоб НЕ равны нулю.

6. Предельные отклонения изношенных колец и скоб НЕ — рекомендуемые.

8. Предельные отклонения среднего диаметра контркалибров КНР-ПР, КНР-НЕ, К-И, У-ПР для колец и скоб ПР, мм

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	КНР-ПР					
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта					
	4			6, 7, 8		
	В	Н	И	В	Н	И
1, 2				-3	-7	-9
3-9	-3	-7	-9	-6,5	-11,5	-13,5
10-18, 20	-6,5	-11,5	-13,5	-13	-18	-21
19, 21-27, 29, 30	-13	-18	-21	-21,5	-27,5	-30,5
28, 31-41	-21,5	-27,5	-30,5	-28	-36	-40
42	-28	-36	-40	-39,5	-50,5	-54,5

Продолжение табл. 8

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	КНР-НЕ				К-И			
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта							
	4		6, 7, 8		4		6, 7, 8	
	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
1, 2			+10	+6			+16	+12
3-9	+10	+6	+9,5	+4,5	+16	+12		
10-18, 20	+9,5	+4,5	+7,5	+2,5			+16,5	+11,5
19, 21-27, 29, 30	+7,5	+2,5	+4	-2	+16,5	+11,5	+16	+10
28, 31-41	+4	-2	+3,5	-4,5	+16	+10	+17,5	+9,5
42	+3,5	-1,5	+0,5	-10,5	+17,5	+9,5	+18,5	+7,5

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	У-ПР					
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта					
	4			6, 7, 8		
	В	Н	И	В	Н	И
1, 2				+4	0	-2
3-9	+4	0	-2	+2	-3	-5
10-18, 20	+2	-3	-5	-2	-7	-10
19, 21-27, 29, 30	-2	-7	-10	-8	-14	-17
28, 31-41	-8	-14	-17	-12	-20	-24
42	-12	-20	-24	-20	-31	-35

Примечания. 1. Предельные отклонения среднего диаметра контркалибров отсчитывают от наибольшего среднего диаметра резьбы болта.

2. Соответствие принятого номера строки шагу и номинальному диаметру резьбы приведено в табл. 5.

3. Предельные отклонения обозначены: В — верхнее; Н — нижнее; И — изношенных калибров.

## 9. Предельные отклонения среднего диаметра контрольных КНЕ-ПР, КНЕ-НЕ для колец и гаек НЕ, мм

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	КНЕ-ПР								
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта								
	4			6			7		
	В	Н	И	В	Н	И	В	Н	И
1, 2				-11	-15	-17			
3-5	-11	-15	-17				-13,5	-18,5	-20,5
6-9				-13,5	-18,5	-20,5			
10-14, 16							-18	-23	-26
15, 17, 18, 20	-13,5	-18,5	-20,5	-18	-23	-26			
19, 21, 22, 25, 26							-22,5	-28,5	-31,5
24, 27, 29, 30	-18	-23	-26	-22,5	-28,5	-31,5			
28, 31-35, 37, 38							-27,5	-35,5	-39,5
36, 39-41	-22,5	-28,5	-31,5	-27,5	-35,5	-39,5			
42	-27,5	-35,5	-39,5	-34,5	-45,5	-49,5			

Продолжение табл. 9

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	КНЕ-ПР			КНЕ-НЕ				
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта							
	6			4		6	7	8
	В	Н	И	В	Н	С	С	С
1, 2	-13,5	-18,5	-20,5			±2		
3-5				+2	-2		±2,5	±2,5
6-9	-18	-23	-26			±2,5		
10-14, 16								±3
15, 17, 18, 20	-22,5	-28,5	-31,5				±3	
19, 21, 22, 25, 26				+2,5	-2,5	±3		
24, 27, 29, 30	-27,5	-35,5	-39,5					±4
28, 31-35, 37, 38							±4	
36, 39-41	-34,5	-45,5	-49,5	+3	-3	±4		±5,5
42							±5,5	
	-43	-55	-61	+4	-4	±5,5		±6

Примечания. 1. Предельные отклонения среднего диаметра калибров отсчитывают от наименьшего среднего диаметра резьбы болта.

2. Соответствие принятого номера строки шагу и номинальному диаметру резьбы приведено в табл. 5.

3. Предельные отклонения обозначены: В — верхнее, Н — нижнее, И — изломанных калибров, С — симметричные отклонения.



10. Предельные отклонения среднего диаметра контрольных калибров КИ-НЕ, У-НЕ для колец и скоб НЕ, мкм

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	КИ-НЕ							
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта							
	4		6		7		8	
	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
1, 2			+5	+1	+6,5	+1,5	+6,5	+1,5
3, 5	+5	+1	+6,5	+1,5				
6-9					+7,5	+2,5	+7,5	+2,5
10-14, 16	+6,5	+1,5	+7,5	+2,5			+9	+3
15, 17, 18, 20					+9	+3		
19, 21-23, 25, 26	+7,5	+2,5	+9	+3			+12	+4
24, 27, 29, 30					+12	+4		
28, 31-35, 37, 38	+9	+3	+12	+4			+15,5	+4,5
36, 39-41					+15,5	+4,5		
42	+12	+4	+15,5	+4,5			+18	+6
Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	У-НЕ							
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта							
	4			6				
	В	Н	И	В	Н	И		
1, 2			-4	-5	-10			
3, 5	-4	-8	-10					
6-9				-5	-10	-12		
10-14, 16	-5	-10	-12	-7	-12	-15		
15, 17, 18, 20								
19, 21-23, 25, 26	-7	-12	-16	-9	-15	-18		
24, 27, 29, 30								

Продолжение табл. 10

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	У-НЕ					
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта					
	4			6		
	В	Н	И	В	Н	И
28, 31-35, 37, 38	-9	-15	-18	-11,5	-19,5	-23,5
36, 39-41						
42	-11,5	-19,5	-23,5	-15	-26	-30
Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	У-НЕ					
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта					
	7			8		
	В	Н	И	В	Н	И
1, 2	-5	-10	-12	-5	-10	-12
3, 5				-7	-12	-15
6-9	-7	-12	-15			
10-14, 16				-9	-15	-18
15, 17, 18, 20	-9	-15	-18			
19, 21-23, 25, 26				-11,5	-19,5	-23
24, 27, 29, 30						
28, 31-35, 37, 38	-11,5	-19,5	-23,5			
36, 39-41				-15	-26	-36
42	-15	-26	-30	-19	-31	-37

Примечания. 1. Предельные отклонения среднего диаметра отсчитывают от наименьшего среднего диаметра резьбы болта.

2. Соответствие принятого номера строки шагу и номинальному диаметру резьбы приведено в табл. 6.

3. Предельные отклонения обозначены: В — верхнее; Н — нижнее; И — изношенных калибров.

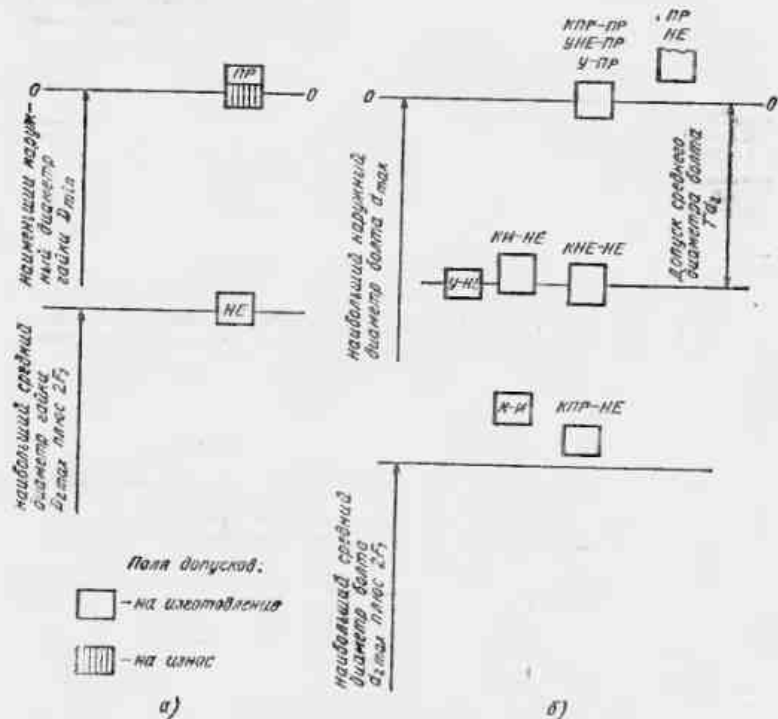


Рис. 13. Схема расположения полей допусков наружного диаметра резьбы калибров для проверки:  
 а — гаек; б — болтов

ниже поля износа ПР и к границе допуска нового калибра НЕ (верхней для пробки, нижней для скобы).

Допуски наружного диаметра резьбы калибров. Расположение полей допусков наружного диаметра резьбы калибров для проверки гаек и болтов приведен на рис. 13.

Предельные отклонения наружного диаметра резьбы калибров приведены в табл. 11—13.

Допуски внутреннего диаметра резьбы калибров. Расположение полей допусков внутреннего диаметра резьбы калибров для проверки гаек и болтов приведено на рис. 14.

Предельные отклонения внутреннего диаметра резьбы калибров приведены в табл. 14 и 15.

Допуски шага резьбы. Допускаемые отклонения по шагу приведены в табл. 16.

Допуски половины угла профиля. Допускаемые отклонения половины угла профиля резьбы приведены в табл. 17.

### 11. Предельные отклонения наружного диаметра пробки ПР, НЕ, мкм

Примерный № строки для шага и номинального диаметра резьбы	Пробки ПР						Пробки НЕ
	Степени точности среднего диаметра резьбы гайки						В
	4, 5		6, 7		8		
	В	Н	Н	В	Н	Н	В
1							
2—4	+6	-6	-8	+9	-5	-7.5	+9
5—8							
9	+9	-5	-7.5	+15	-3	-6.5	+10.5
10—13, 16							
14, 15, 17, 20							
18, 19, 21, 22, 25	+15	-3	-6.5	+23	+1	-5.5	+13.5
23, 24, 26, 27, 29							
28, 30, 31, 33, 34, 37	+23	+1	-6.5	+30	+2	-5	+16.5
32, 35, 36, 38, 39							
40, 41	+30	+2	-5	+42	+6	-3	+21

Продолжение табл. 11

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	Пробки НЕ						
	Степени точности среднего диаметра резьбы гайки						
	4		5		6		7
	Н	В	Н	В	Н	В	Н
1	-3	+9	-3	+10,5	-3,5		
2-4							
5-8		+10,5	-3,5				
9	-3,5			+13,5	-4,5	+13,5	-4,5
10-13, 16		+13,5	-4,5				
14, 15, 17, 20	-4,5			+16,5	-5,5		
18, 19, 21, 22, 25							
23, 24, 26, 27, 29		+16,5	-5,5			+21	-7
28, 30, 31, 33, 34, 37	-5,5			+21	-7		
32, 35, 36, 38, 39		+21	-7			+27	-9
40, 41	-7			+27	-9		
		+27	-9			+33	-11

Примечания. 1. Предельные отклонения наружного диаметра отсчитываются; пробки ПР от наименьшего наружного диаметра гайки, пробки НЕ от наибольшего среднего диаметра гайки плюс удвоенная величина головки (2F<sub>1</sub>).

2. Соответствие принятого номера строки шагу и номинальному диаметру резьбы приведена в табл. 6.

3. Предельные отклонения обозначены: В — верхнее; Н — нижнее; И — знаменитых калибров.

12. Предельные отклонения наружного диаметра колец ПР, НЕ и конгркалбров КНР-ПР, КНР-НЕ, К-И, У-ПР, мм

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	Кольцо ПР		Кольцо НЕ				КНР-ПР		КНР-НЕ
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта								
	4		6, 7, 8		4		6		7
	Н	И	Н	И	Н	И	Н	И	С
1, 2		+6		+6		+7		+7	
3-5	+6		+6		+7		+9		±6
6-9		+7		+7		+9		+9	±7
10-14, 16								+11	
15, 17, 18, 20	+7	+9	+7	+9				+11	±7
19, 21-23, 25, 26								+11	±9
24, 27, 29, 30	+9	+11	+9	+11				+14	±9
28, 31-35, 37, 38								+14	±11
36, 38-41	+11	+14	+11	+14				+18	±11
42	+14	+18	+14	+18				+22	±14
									±18
									+6,5
									±14
									±18
									+6,5

Приложение табл. 12

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	КПР-НЕ			К-Н				У-ПР	
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта								
	4	6, 7, 8		4		6, 7, 8		4	6, 7, 8
	Н	В	Н	В	Н	В	Н	С	С
1, 2		+11	+5			+17	+11		±6
3-5	+5			+17	+11			±6	
6-8		+10,5	+3,5			+17,5	+10,5		±7
10-14, 16									
15, 17, 18, 20	+3,5	+9,5	+0,5	+17,5	+10,5	+18,5	+9,5	±7	±9
19, 21-23, 25, 26									
24, 27, 29, 30	+0,5	+6,5	-4,5	+18,5	+9,5	+18,5	+7,5	±9	±11
28, 31-35, 37, 38									
36, 39-41	-4,5	+6,5	-7,5	+18,5	+7,5	+20,5	+6,5	±11	±14
42	-7,5	+4	-14	+20,5	+6,5	+22	+4	±14	±18

Примечания. 1. Предельные отклонения наружного диаметра обозначают: для колец ПР, НЕ и контрольных КПР-ПР, У-ПР — от наибольшего наружного диаметра резьбы болта; для контрольных КПР-НЕ, К-Н — от наибольшего среднего диаметра болта плюс удвоенная величина головки ( $2F_1$ ).

2. Соответственно принятого номера строки шагу и номинальному диаметру резьбы приведено в табл. 5.

3. Предельные отклонения обозначены: В — верхнее; Н — нижнее; С — симметричные отклонения.

4. Верхнее отклонение наружного диаметра колец и колец ПР, НЕ не нормируется.

13. Предельные отклонения наружного диаметра контрольных КНЕ-ПР, КНЕ-НЕ, КИ-НЕ, У-НЕ, мм

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	КНЕ-ПР, КНЕ-НЕ				КИ-НЕ			
	Степень точности среднего диаметра резьбы болта							
	4	6	7	8	4	6		
	С	С	С	С	В	Н	В	
1, 2		±6		±7			+9	
3-5	±6		±7		+9	-3		
6-9		±7		±9			+11	
10-14, 16		±9						
15, 17, 18, 20	±7	±9		±11	+11	-3	+14	
19, 21-23, 25, 26		±11						
24, 27, 29, 30	±9	±11		±14	+14	-4	+17	
28, 31-35, 37, 38		±14						
39-41	±11	±14		±18	+17	-6	+22	
42	±14	±18		±18	±22	+22	-6	+28
Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	КИ-НЕ				У-НЕ			
	Степень точности среднего диаметра резьбы болта							
	6	7	8	4				
	Н	В	Н	В	Н	В	Н	
1, 2	-3			+11	-3			
3-5		+11	-3			+2	-10	
6-9	-3			+14	-4			
10-14, 16		+14	-4					
15, 17, 18, 20	-4			+17	-5	+2	-12	
19, 21-23, 25, 26		+17	-5					
24, 27, 29, 30	-5			+22	-6	+2	-16	
		+22	-6					

Продолжение табл. 13

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	КИ-НЕ				У-НЕ			
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта							
	6		7		8		4	
	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
28, 31—35, 37, 38	-6	+22	-6		+28	-8	+2	-20
39—41		+28	-6					
42	-6				+34	-10	+2,5	-25,5

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	У-НЕ					
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта					
	6		7		8	
	В	Н	В	Н	В	Н
1, 2	+2	-10			+2	-12
3—5			+2	-12		
6—9	+2	-12			+2	-16
10—14, 16			+2	-16		
15, 17, 18, 20	+2	-16			+2	-20
19, 21—23, 25, 26			+2	-20		
24, 27, 29, 30	+2	-20			+2,5	-25,5
28, 31—35, 37, 38			+2,5	-25,5		
39—41	+2,5	-25,5			+3	-33
42			+3	-33	+3	-41

Примечания: 1. Предельные отклонения наружного диаметра отсчитывают: для конторкалнбра КНЕ-ПР — от наибольшего наружного диаметра болта; для конторкалнбров КНЕ-НЕ, КИ-НЕ, У-НЕ — от наибольшего наружного диаметра болта минус допуск среднего диаметра болта.  
2. Соответствие принятого номера строки шагу и номинальному диаметру резьбы указано в табл. 5.  
3. Предельные отклонения обозначены: В — верхнее; Н — нижнее; С — симметричные отклонения.

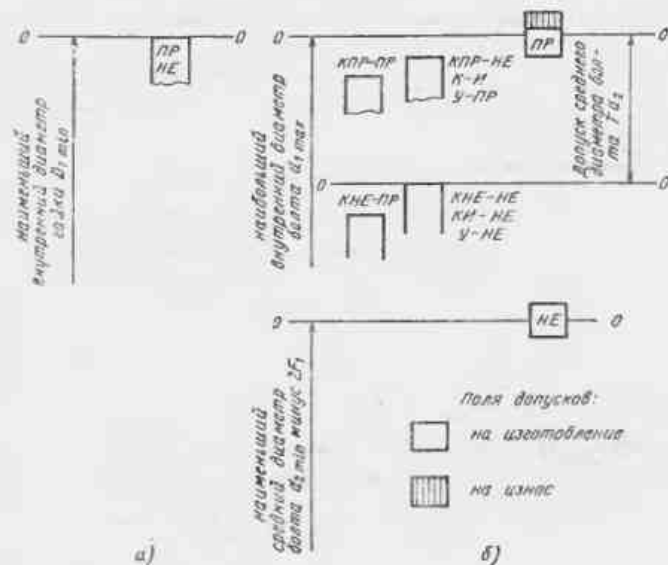


Рис. 14. Схема расположения полей допусков внутреннего диаметра резьбы калибров для проверки: а — гайки; б — болтов

Допуски гладких калибров приведены в ГОСТ 18107—72.

Расчет исполнительных размеров резьбовых калибров. Исполнительные размеры резьбовых калибров определяют так же, как и размеры гладких калибров.

Шероховатость поверхности по боковым сторонам для конторкалнбров должна быть  $Ra = 0,25$  мкм, для калибров  $Ra = 0,32$  мкм, а для остальных поверхностей  $Ra = 0,63$  мкм.

Ниже даны примеры расчета исполнительных размеров резьбовых калибров.

**Пример 5.** Определить исполнительные размеры диаметров рабочих проходных колец для контроля болта  $M8 \times 1,25$  GH.

Для определения исполнительного размера кольца ПР по среднему диаметру (см. рис. 12, а) необходимо знать значение наибольшего предельного среднего диаметра болта. Так как это значение совпадает с номинальным, то по соответствующим справочным таблицам находим  $d_s = 7,188$  мм. По табл. 5 для шага 1,25 мм и для диаметра 8 мм находим принятый номер строки; он равен 20. По табл. 7 для строки № 20 находим: верхнее отклонение нового кольца равно +5 мкм; нижнее отклонение нового кольца равно -9 мкм; предельное отклонение изношенного кольца равно +14 мкм.

Размер нового калибра-кольца ПР по среднему диаметру равен  $7,188 - 0,009 = 7,179$  мм.

Допуски равен (+5) - (-9) = 14 мкм. Следовательно, исполнительный размер кольца ПР по среднему диаметру равен  $7,179 + 0,014$ .

Размер предельного изношенного кольца равен  $7,188 + 0,014 = 7,202$  мм. Таким образом, когда кольцо ПР будет изношено до этого размера, его нужно изъять из эксплуатации.

Для определения исполнительного размера кольца ПР по наружному

14. Предельные отклонения внутреннего диаметра колец и скоб ПР, НЕ, мм

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	Кольца и скобы ПР		Кольца и скобы НЕ					
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта							
	4		6, 7, 8		4			
	С	И	С	И	В	Н		
1, 2	±4	+16	±4	+10	+4	-12		
3-5			±5	+12				
6-9			±7	+16				
10-14	±5	+12	±7	+16	+5	-15		
15, 17, 18, 20			±9	+21				
19, 21-23, 25, 26			±11,5	+25,5				
24, 27, 29, 30	±9	+21	±11,5	+25,5	+9	-27		
28, 31-35, 37, 38			±15	+33				
36, 39-41			±11,5	+25,5				
42	±11,5	+25,5	±15	+33	+11,5	-34,5		
Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	Кольца и скобы НЕ							
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта							
	6		7		8			
	В	Н	В	Н	В	Н		
1, 2	+4	-12	+5	-15	+5	-15		
3-5	+5	-15			+7	-21		
6-9	+7	-21			+9	-27		
10-14	+7	-21	+9	-27	+11,5	-34,5		
15, 17, 18, 20							+9	-27
19, 21-23, 25, 26								
24, 27, 29, 30	+11,5	-34,5	+15	-45				
28, 31-35, 37, 38					+15	-45		
36, 39-41							+15	-45
42	+15	-45	+15	-45	+15	-45		

Примечания. 1. Предельные отклонения внутреннего диаметра отсчитывают: кольца и скобы ПР — от наибольшего внутреннего диаметра болта; кольца и скобы НЕ — от наименьшего среднего диаметра болта минус удвоенная величина головки (2*r*); если внутренний диаметр колец и скоб НЕ получится меньше внутреннего диаметра колец и скоб ПР, то отсчет верхнего и нижнего отклонений колец и скоб НЕ производят от соответствующих минимальных размеров колец и скоб ПР.

2. Соответствие принятого номера строки шагу и номинальному диаметру резьбы приведено в табл. 5.

3. Предельные отклонения обозначены: В — верхнее; Н — нижнее; И — номинальных калибров; С — симметричные отклонения.

15. Предельное верхнее отклонение внутреннего диаметра калибров, мм

Принятый № строки для шага и номинального диаметра резьбы	Контрольные калибры								
	КПР-ПР		КПР-НЕ, У-ПР, К-П		КНЕ-ПР				
	Степени точности среднего диаметра резьбы болта								
	4	6, 7, 8	4	6, 7, 8	4	6	7	8	
Отклонения									
1, 2	-6	-10	-6	-4	-14	-17	-17	-17	
3-5			-4	-5					
6-9			-5	-7					
10-14	-6	-10	-4	-5	-14	-17	-17	-22	
16-18								-17	-7
15, 20								-17	-9
19, 21-23, 25, 26	-17	-26	-7	-9	-22	-27	-27	-27	
24, 27, 29, 30								-26	-34
31-35, 37, 38								-34	-42
36, 39, 41	-17	-26	-7	-9	-22	-27	-27	-33,5	
42								-34	-47
42								-34	-47

Примечания. 1. Верхние отклонения пробок ПР, НЕ и контрольных КНЕ-НЕ, У-НЕ, КИ-НЕ равны нулю.

2. Предельные отклонения внутреннего диаметра отсчитывают: для пробок ПР, НЕ — от наименьшего внутреннего диаметра резьбы гайки; для контрольных КПР-ПР, КПР-НЕ, У-ПР, К-И от наибольшего внутреннего диаметра резьбы болта; для контрольных КНЕ-ПЕ, КИ-НЕ, У-НЕ, КНЕ-ПР — от наибольшего внутреннего диаметра резьбы болта минус допуск среднего диаметра болта.

3. Нижние отклонения указанных в таблице и примечании калибров и контрольных не нормируются.

4. Соответствие принятого номера строки шагу и номинальному диаметру резьбы приведено в табл. 5.

## 16. Допускаемые отклонения по шагу резьбы калибров

Длина резьбы калибра, мм	Допускаемые отклонения по шагу резьбы рабочих и контрольных калибров, мкм ( $\pm$ )		Длина резьбы калибра, мм	Допускаемые отклонения по шагу резьбы рабочих и контрольных калибров, мкм ( $\pm$ )	
	Рабочих	Контрольных		Рабочих	Контрольных
До 12	4		Са 50 до 80	7	
Са 12 до 32	5		> 80 > 125	8	
> 32 > 50	6		> 125 > 200	10	

Примечание. Допускаемые отклонения по шагу относятся к расстояниям между любыми витками резьбы калибра.

## 17. Допускаемые отклонения половины угла профиля

Шаг резьбы, мм	Допускаемые отклонения половины угла профиля, мин ( $\pm$ )		Шаг резьбы, мм	Допускаемые отклонения половины угла профиля, мин ( $\pm$ )	
	Калибры полного профиля	Калибры укороченного профиля		Калибры полного профиля	Калибры укороченного профиля
0,20	60	60	0,75	17	17
0,25	48	48	0,80	16	16
0,30	40	40	1,00	15	16
0,35	35	35	1,25	13	16
0,40	31	31	1,75	11	16
0,45	26	26	2,00—2,50	10	14
0,50	25	25	3,00	9	13
0,60	21	21	3,50	9	12
0,70	18	18	4,00—4,50—5,00	8	11
			5,50—6,00	8	10

диаметру (см. рис. 13) необходимо знать значение наибольшего предельного наружного диаметра болта  $d$ . Так как это значение в нашем случае совпадает с номинальным, то  $d = 8$  мм.

Далее по табл. 12 для строки № 20 находим нижнее отклонение для калибра, которое равно  $+9$  мкм. Следовательно, размер калибра по наружному диаметру должен быть не менее 8,009 мм.

Для определения исполнительного размера кольца ПР по внутреннему диаметру (см. рис. 14, б) необходимо знать значение наибольшего предельного внутреннего диаметра болта  $d_1$ . Так как это значение в нашем случае совпадает с номинальным, то по соответствующим справочным таблицам находим  $d_{1\max} = 6,647$  мм. По табл. 14 для строки № 20 находим: верхнее отклонение нового кольца равно  $+7$  мкм; нижнее отклонение нового кольца равно  $-7$  мкм; предельное отклонение изношенного кольца равно  $+16$  мкм.

Размер нового кольца ПР по внутреннему диаметру равен  $6,647 - 0,007 = 6,640$  мм. Допуск равен  $(+7) - (-7) = 14$  мкм. Следовательно, исполнительный размер кольца ПР по внутреннему диаметру равен  $6,640 \pm 0,014$ .

Размер предельного изношенного кольца равен  $6,647 + 0,016 = 6,663$  мм. Таким образом, когда кольцо ПР будет изношено до этого размера, его нужно изъять из эксплуатации.

Пример 8. Определить исполнительный размер среднего диаметра контрольного проходного калибра для контроля проходной стороны скобы КНР-ПР. Скоба предназначена для контроля болта М8х1,25 6А (см. пример 5).

По табл. 8 для строки № 20 находим: верхнее отклонение нового калибра КНР-ПР равно  $-13$  мкм; нижнее отклонение нового калибра равно  $-18$  мкм; предельное отклонение изношенного калибра равно  $-21$  мкм. Наибольший размер нового контрольного калибра КНР-ПР по среднему диаметру равен  $7,188 - 0,013 = 7,175$  мм. Допуск равен  $(-13) - (-18) = 5$  мкм. Следовательно, исполнительный размер контрольного калибра КНР-ПР по среднему диаметру равен  $7,175 - 0,005$ .

Размер предельного изношенного калибра равен:  $7,188 - 0,021 = 7,167$  мм.

Таким образом, когда контрольный калибр будет изношен до этого размера, его нужно изъять из эксплуатации.

Для упрощения определения размеров резьбовых калибров можно пользоваться ГОСТ 18465—73 и ГОСТ 18466—73.

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГОЛОВКИ

Измерительные головки составляют обширную группу приборов, основанных на самых различных принципах действия (рычажные, рычажно-зубчатые, зубчатые, пружинные, с оптическим рычагом, интерференционные и др.). Они являются сменными частями в измерительных приборах (универсальных и специализированных), а также во вновь проектируемых измерительных устройствах.

Наиболее точные измерительные головки показаны на рис. 1 и 2.

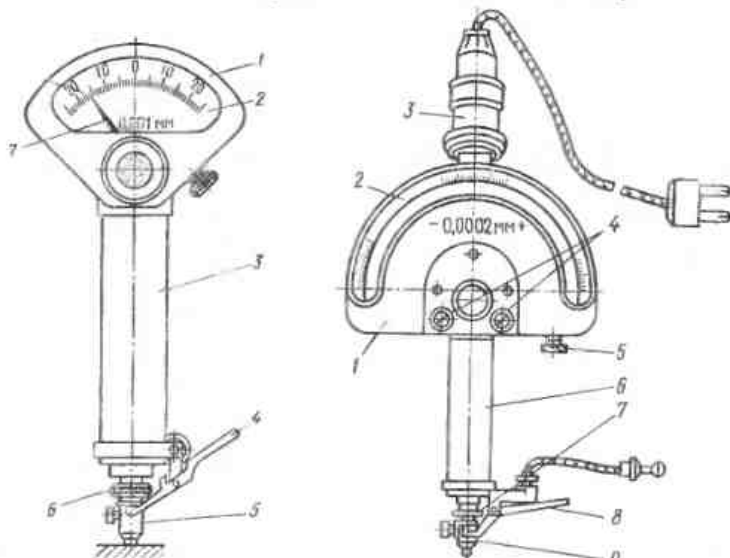


Рис. 1. Измерительная пружинная головка типа ИГП (микротор): 1 — крышка; 2 — шкала; 3 — гильза; 4 — арретир; 5 — измерительный наконечник; 6 — фиксатор; 7 — стрелка

Рис. 2. Измерительная пружинно-оптическая головка типа П (оптикатор): 1 — корпус; 2 — шкала; 3 — осветитель; 4 — винты указателей границ поля допуска; 5 — винт поворота шкалы для окончательной настройки прибора на нуль; 6 — гильза; 7 — фиксатор; 8 — арретир; 9 — измерительный наконечник

1. Характеристики измерительных головок

Тип и модель головки	Цена деления, мкм	Пределы показаний, мм	Допустимая погрешность, мкм, в пределах		Вариация показаний, мкм	Измерительное усилие, Н	Присоединительные и габаритные размеры, мм
			всей шкалы	нормированного участка			

Головки измерительные пружинные (микроторы) по ГОСТ 6933—72

01ИГП 11600	0,1	±0,004	0,15	±30 дел.	0,1	0,03	15	28A7 (5A7) 215×95× ×55
02ИГП 11500	0,2	±0,006	0,2		0,15	0,06	15	
05ИГП 11400	0,5	±0,015	0,4		0,25	0,16	15	
1ИГП 11300	1	±0,030	0,6		0,4	0,25	20	
2ИГП 11200	2	±0,060	1,2		0,8	0,5	20	
5ИГП 11100	5	±0,150	3,0	2,0	1,25	30		
10ИГП 11001	10	±0,300	5,6	3,0	2,4	30		

01ИГПУ	0,1	±0,004	0,15	0,1	0,03	2,5—5	215×95× ×55 95×55
02ИГПУ	0,2	±0,006	0,2	0,15	0,06		
05ИГПУ	0,5	±0,015	0,4	0,25	0,16		
1ИГПУ	1	±0,030	0,6	0,4	0,25		

01ИГПР	0,1	±0,004	0,15	0,1	0,03	4—15	215×95× ×55
02ИГПР	0,2	±0,006	0,2	0,15	0,06		
05ИГПР	0,5	±0,015	0,4	0,25	0,15		
1ИГПР	1	±0,030	0,6	0,4	0,25		

11600	0,1	±0,004	0,15	0,1	0,03	0,5	84×218× ×58
11500	0,2	±0,006	0,2	0,15	0,06		
11400	0,5	±0,015	0,4	0,25	0,15		
11300	1	±0,030	0,6	0,4	0,25		

Головки измерительные пружинно-оптические (оптикатор) по ГОСТ 10393—74

01П 15600	0,1		0,1	±100 дел.	0,65	0,633	15	28A7 180×72× ×346
02П 15500	0,2		0,2		0,1	0,066		
05П 15400	0,5		0,4		0,2	0,17		
1П 15301	1		0,8		0,4	0,3		

Головки измерительные пружинные малогабаритные (микроторы) по ГОСТ 14712—69

02ИПМ 02ИПМУ	0,2	±0,010	0,3	±30 дел. 0,15	0,1	10 5	8A7 60×105× ×52
05ИПМ 05ИПМУ	0,5	±0,025	0,5	0,3	0,16	15 5	
1ИПМ 1ИПМУ	1	±0,050	1	0,5	0,3	16	



Продолжение табл. 4

Тип и модель головки	Цена деления, мкм	Пределы показаний, мкм	Допустимая погрешность, мкм, в пределах		Верхняя погрешность, мкм	Измерительное усилие, Н	Присоединительные и габаритные размеры, мм
			всей шкалы	нормированного участка			
Головка измерительная рычажно-пружинная (миникатор) по ГОСТ 14711-69							
10301 дл. 10301 кор.	2 1	$\pm 0,08$ $\pm 0,04$	2 1	$\pm 20$   1 дел.   0,5	0,6 0,3	1 2	40×46× ×102
Головки измерительные рычажно-зубчатые по ГОСТ 18853-73							
1ИГ 2ИГ	1 2	$\pm 0,05$ $\pm 0,1$	$\pm 0,7$ $\pm 1,2$	$\pm 0,4$ $\pm 0,5$	0,2 0,4	10±3 0,04	60×95× ×20
Индикаторы многооборотные							
1МИГ 2МИГ 05205	1 2	0-1 0-2 5	2,5 5 5	1 оборот { 2 3 4	0,5 1 1	20	70×106× ×20 132×82× ×22
Индикаторы рычажно-зубчатые							
ИРБ	10	0,8	10	0,1 мм 5	—	3	82×29× ×24
Индикаторы часового типа по ГОСТ 577-68							
ИЧ-2 ИЧ-5 ИЧ-10	10	0-2 0-5 0-10	10-12 12-15 15-20	0,1 мм { 0 кл.т.4 1 кл.т.5	3	15 15 20	8h7 108×56× ×24
ИЧ-25	10	0-25	32	1 мм 15	5	25	8h7
ИЧ-50	10	0-50	48	1 мм 15	5	25	195×84× ×51
ИТ	10	0-2	10-12	0,1 мм 4-6	3	15	63×42× ×44

Продолжение табл. 4

Тип и модель головки	Цена деления, мкм	Пределы показаний, мм	Допустимая погрешность, мкм, в пределах		Верхняя погрешность, мкм	Измерительное усилие, Н	Присоединительные и габаритные размеры, мм
			всей шкалы	нормированного участка			
1ИЧТ 2ИЧТ	10	8-9	10	0,02 мм 5	3	12-20	122× ×102×42
3ИЧТ	5	120 дел.	5	0,005 мм 3	2	8-10	
1ИЧС 2ИЧС	—	$\pm 0,5$	16	0,1 мм 6	3	15	124×88× ×27
Трубка оптиметра по ГОСТ 5405-75							
—	1	$\pm 100$ дел	—	( $\pm 60$ дел) $\pm 0,2$ ( $\pm 100$ дел) +0,3	—	—	28h7 (5h7)
Трубки интерферометра							
—	0,05- 0,2	$\pm 50$ дел	—	( $0,03 +$ $+ 1,5n \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ )	—	—	28h7 (5h7)

Условные обозначения:  $n$  — число делений шкалы от нулевого штриха;  
 $i$  — цена деления шкалы, мкм;  
 $\lambda$  — длина волны, мм, пропускаемая свето-  
 фильтром;  
 $\Delta\lambda$  — погрешность измерения длины волны, мм.

Примечание. В графе «Присоединительные и габаритные размеры» в скобках указаны размеры присоединения измерительных наконечников.

Характеристики наиболее распространенных измерительных головок приведены в табл. 1.

Отсчет показаний измерительных головок осуществляют по уравнению отсчета, общему для всех измерительных приборов:

$$A = M + \sum_{k=1}^p n_k i_k + m p_i p_j$$

где  $A$  — величина отсчета;  $M$  — величина меры, по которой отсчетное устройство установлено на нуль;  $n$  — число целых делений, отсчитанное по шкалам отсчетного устройства;  $i$  — цена деления этих шкал;  $k$  — номер шкалы;  $m$  — доля деления шкалы с наименьшей ценой деления, отсчитанная на глаз.

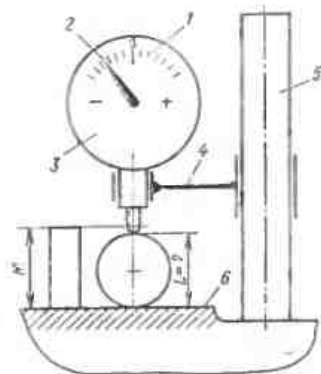


Рис. 3. Слема отсчета показаний измерительной головки:  
1 — шкала; 2 — указатель (стрелка); 3 — измерительная головка; 4 — кронштейн; 5 — стойка; 6 — поверхность измерительного стола

Согласно рис. 3 отсчет

$$A = M + (n_1 + m_1) i_1.$$

Если принять, что  $i_1 = 0,001$  мм и  $M = 10$  мм, то получим

$$A = 10 - 3,5 \times 0,001 = 9,9965 \text{ мм.}$$

Размер предмета  $L$ , который мы хотим определить с помощью измерений, всегда отличается от полученного отсчета на некоторую малую величину, составляющую погрешность измерения, поэтому

$$L = A - \Delta_{\Sigma},$$

где  $\Delta_{\Sigma}$  — суммарная погрешность измерения.

## 2. СТОЙКИ И ШТАТИВЫ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК

Измерительные головки устанавливают на стойки или штативы, выпускающиеся по ГОСТ 10197—70\* (табл. 2).

К стойкам в комплекте поставляют основные измерительные столы. Кроме того, по особому заказу могут быть поставлены дополнительные столы (табл. 3).

2. Характеристики стоек и штативов для измерительных головок (по ГОСТ 10197—70\*)

Тип	Цена деления измерительной головки, мкм	Пределы измерения по высоте $H$ , мм	Наибольший вылет измерительной головки, мм	Присоединительный размер по диаметру, мм	Допускаемый прогиб стойки при $H$ , мкм
C-I	0,1—0,5	0—160	75	28H8	0,1
C-II	1—5	0—160	75		0,5
C-III	1—10	0—100	55 25—160	8 H8	0,5
C-IV	10 и более	0—250			4
Ш-I	2—5	(250)	200	8 H8	2
Ш-IIH	10	(630)	500		5
Ш-IIВ	10 и более	(200)	160		ε
Ш-III	10 и более	(250)	200		40
ШМ-IH	10 и более	(250)	200		5
ШМ-IIH	10 и более	(630)	500		8
ШМ-III	10 и более	(200)	160		40
ШМ-1	10 и более	(250)	200		2

Примечание. В скобках указаны высота штатива.

3. Характеристики измерительных столов в стойках по ГОСТ 10197—70\*

Тип стойки	Конструкция стола	Размеры стола, мм не менее
C-I C-II	Основные	
	Прямоугольный ребристый	100 × 40 125 × 125
	Круглый гладкий	∅ 50
C-III C-IV	Прямоугольный гладкий	100 × 160
Дополнительные		
C-I	Круглый гладкий, с регулировкой измерительной плоскости в положение, параллельное плоскости измерительного наконечника	∅ 90
	Круглый ребристый, с выступающей сферической вставкой	∅ 60
	Круглый ребристый, в выступающем среднем ребром	∅ 60
C-II	Круглый гладкий, с регулировкой измерительной плоскости в положение, параллельное плоскости измерительного наконечника	∅ 90
C-III	Круглый гладкий, с отверстиями диаметром от 0,4 до 3,5 мм для измерения буртиков и задних поверхностей мелких деталей	—

## 3. ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТЫ

К штангенинструментам относят штангенциркули (табл. 4), штанген-глубиномеры и штангенрейсмасы\* (табл. 5).

По ГОСТ 166—73\* штангенциркули (табл. 4) выпускают типов: ШЦ-I — с двусторонним расположением губок — для наружных и внутренних измерений с линейкой для измерения глубин;

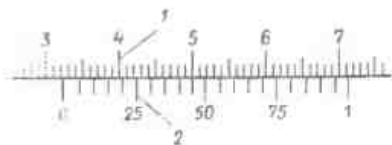


Рис. 4. Отсчетное устройство штангенинструмента: 1 — основная шкала; 2 — шкала нониуса

ШЦ-II — с двусторонним расположением губок — для измерения наружных и внутренних размеров и для разметки;

## 4. Характеристики штангенциркулей

Тип	Пределы измерений, мм	Величина отсчета по нониусу, мм	Вылет губок для измерений, мм		Пределы погрешности показаний, мм ( $\pm$ )
			наружных	внутренних	
ШЦ-I	0—125	0,1	40	18	0,1
ШЦ-II	0—160	0,05	45	—	0,05
ШЦ-I-III	0—400; 250—630; 320—1000	0,1	80	—	0,1
	500—1600; 800—2000	0,1	100	—	0,2
	1500—3000	0,1	150	—	0,3
	2000—4000	0,1	150	—	0,4
ШЦЗ	6—150	0,05	—	—	0,1
ШЦО-III	14—320	0,05 0,1	—	10	0,05 0,1
ШЦР	15—300	0,1	—	—	0,1

## 5. Характеристики штангенрейсмасов по ГОСТ 164—73

Тип	Пределы измерений, мм	Величина отсчета по нониусу, мм	Вылет ножек, мм	Погрешность показаний, мм ( $\pm$ )
ШР-250	0—250	0,05	50	0,05
ШР-400	40—400		—	
ШР-630	60—630	0,05; 0,1	60	0,05; 0,1
ШР-1000	100—1000	0,1	125	0,1
ШР-1600	600—1600		—	
ШР-2500	1500—2600		160	

ШЦ-Ш — с односторонними губками, с дополнительным разметочным устройством;

ШЦЦ — центромер для измерения межцентровых расстояний отверстий или шпилек круглого, овального, прямоугольного, Т-образного и других сечений, имеющих ось симметрии;

ШЦО-Ш — с односторонним расположением губок, для измерения отверстий при расточке деталей без вывода борштанта из контролируемого отверстия;

ШЦР — разметочный, для разметки плоскостей на разных высотах и от базовых отверстий.

Отсчет (рис. 4)

$$A = n_1 i_1 + n_2 i_2.$$

$$\text{При } i_1 = 1 \text{ мм; } i_2 = \frac{i_1}{n_2} = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ мм;}$$

где  $n_2^n$  — полное число делений шкалы нониуса, получим

$$A = 32 \cdot 1 + 9 \cdot 0,05 = 32,45 \text{ мм.}$$

## 4. МИКРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

К наиболее распространенным микрометрическим инструментам относятся микрометры (ручные и настольные) для наружных измерений, микрометрические глубиномеры и нутромеры.

Микрометры (табл. 6 и 7) выпускают типов:

МК — гладкие, для измерения наружных размеров;

МВП — гладкие, для измерения деталей из мягких материалов;

МЛ — с циферблатом, для измерения толщины листов и лент;

МТ — для измерения толщины стенок труб;

МВМ — для измерения среднего диаметра метрических, дюймовых и трубных резьб;

МЗ — для измерения длины общей нормали зубчатых колес.

Отсчет (рис. 5)

$$A = M + n_1 i_1 + A_2 + (n_3 + m_3) i_3.$$

## 6. Характеристики микрометров

Тип	Пределы измерения, мм	Длина винта, мм
МК	0—15	15
МК	0—25; 25—50; 50—75; 75—100; 100—125; 125—150; 150—175; 175—200; 200—225; 225—250; 250—275; 275—300; 300—400; 400—500; 500—600	25
М-1	0—6 0—10	5 10
МТ	0—25 0—10 0—25	25 10 25

Тип	Пределы измерения, мм	Погрешность показаний, мм	Измерительное усилие, Н	Диаметр измерительной поверхности, мм
МК*	0—100	0±0,002 1±0,004	50—90	8
МК	100—200	±0,005	50—90	8
МК	200—300	±0,006	50—90	8
МК	300—500	±0,008	—	8
МК	500—600	±0,010	—	8
МВП	—	±0,005	50—90	12
МЛ	—	±0,004	30—70	—
МТ	—	±0,004	30—70	—

\* Даны погрешности показаний для нулевого и первого классов точности приборов.

## 7. Характеристики настольных микрометров

Горизонтальные и вертикальные по ГОСТ 11195—74

Тип	Цена деления, мм	Пределы измерения, мм	Длина винта, мм	Измерительное усилие, Н	Погрешность показаний, мм	
					До 3 мм	Св. 3 мм
МГ	0,01	0—20	10	50±20	±2	±3
МВ	0,01	0—10	10	50±20	±2	±3

Со стрелочным отсчетным устройством\* по ГОСТ 10388—73

Микрометр		Стрелочное отсчетное устройство		
Цена деления, мм	Пределы показаний, мм	Цена деления, мм	Пределы показаний, мм	Предельная погрешность показаний, мм
0,01	0—10	0,001	0,05	±0,5

\* Различают типы МН-1 и МН-2 с измерительным усилием соответственно 5±2 и 20±5 Н.

Здесь  $l_1 = 1$  мм;  $A_2$  — отсчет по шкале 2, равный 0 или  $s$ ;  $l_3 = \frac{s}{n_3^n}$ , где  $s$  — шаг микрометрического винта;  $n_3^n$  — полное число делений на шкале 3.

При  $s = 0,5$  мм и  $n_3^n = 50$   $l_3 = \frac{0,5}{50} = 0,01$  мм.

Тогда отсчет согласно рис. 5 при  $M = 0$

$$A = 3 \cdot 1 + 0,5 + 2,5 \cdot 0,01 = 3,525 \text{ мм.}$$

Для крепления микрометров на столе служит универсальная стойка типа 15СТ и опора для микрометров и индикаторных скоб ОМС.

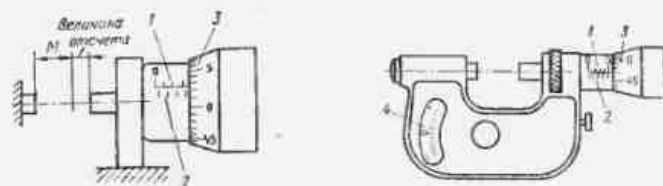


Рис. 5. Отсчетное устройство микрометра:

1 — шкала для отсчета целых миллиметров; 2 — дополнительная шкала для отсчета целых оборотов микрометрического винта; 3 — шкала для отсчета долей оборота микрометрического винта (на рисунке указана величина отсчета по шкале)

Рис. 6. Отсчетное устройство рычажного микрометра:

1 — шкала для отсчета целых миллиметров; 2 — шкала дополнительная для отсчета целых оборотов микрометрического винта; 3 — шкала для отсчета долей оборота микрометрического винта; 4 — устройство для отсчета долей деления шкалы 3

Для увеличения точности измерений микрометры дополняют стрелочными отсчетными устройствами, такие приборы называют рычажными микрометрами.

По ГОСТ 4381—68\* рычажные микрометры (табл. 8) выпускают типов:

МР — для измерения наружных размеров, со встроенным отсчетным устройством;

МРИ — для измерения наружных размеров, со съемными измерительными головками;

МРЗ — для измерения длины общей нормали зубчатых колес, со встроенным в корпус стрелочным отсчетным устройством. Отсчет (рис. 6)

$$A = M + n_1 l_1 + A_2 + n_3 l_3 + (n_4 + m_4) l_4,$$

где  $l_1 = 1$  мм;  $A_2 = 0$  или 0,5 мм;  $l_3 = 0,01$  мм;  $l_4 = 0,002$  мм. Отсчет при  $M = 0$

$$A = 5 \cdot 1 + 0 + 47 \cdot 0,01 + 2,5 \cdot 0,002 = 5,465 \text{ мм.}$$

## 8. Характеристики рычажных микрометров по ГОСТ 4381—88 \*

Тип, модель	Пределы измерения микрометра, мм	Отсчетное устройство	
		Цена деления, мм	Пределы показаний, мм
МР 02020 02120 02220 02320	0—25 25—50 50—75 75—100	0,002	±0,14
МРИ	100—195; 125—150; 150—200; 200—250; 250—300; 300—400; 400—500; 500—600; 600—700; 700—800; 800—900; 900—1000	0,002— 0,01	0,1—5
МРИ 125	1000—1200; 1200—1400 1400—1600; 1600—1800 1800—2000	0,01	—

Тип, модель	Длина винта, мм	Погрешность при цене деления отсчетного устройства, мкм			Измерительное усилие, Н
		0,002	0,005	0,01	
МР 02020 02120 02220 02320	26	±1	—	—	60±10
МРИ	25	±(5—7)	—	±(7—16)	(80±20) — (100±20)
МРИ 125	25	(20±36)			100±20

## 5. РЫЧАЖНЫЕ СКОБЫ

По ГОСТ 11098—75 выпускают рычажные скобы (табл. 9) двух типов: СР — рычажные, со встроенным в корпус отсчетным устройством; СИ — индикаторные, оснащенные сменными измерительными головками.

В рычажных скобах отсутствует микрометр. Винт в этих приборах используется только для расширения пределов измерения при настройке прибора на нуль по установочной мере.

## 9. Характеристики рычажных скоб по ГОСТ 11098—75

Тип	Пределы измерения, мм	Отсчетное устройство		Измерительное усилие, Н	Тип	Пределы измерения, мм	Отсчетное устройство		Измерительное усилие, Н
		Цена деления, мм	Пределы показаний, мм				Цена деления, мм	Пределы показаний, мм	
СР	0—25 25—50	0,002	±0,14	60±10	СИ	100—200 200—300	0,01	3	80±20
	50—75 75—100 100—125 125—150					300—400 400—500 500—600 600—700 700—850 850—1000			
СИ	0—50 50—100	0,01	3	60±10			5	100±20	

## 6. ПРИБОРЫ С ОПТИЧЕСКИМ РЫЧАГОМ

К этой группе измерительных приборов относят оптиметры. Оптиметры изготовляют в двух вариантах: вертикальные — с вертикальной линией измерения (рис. 7, а) и горизонтальные — с горизонтальной линией измерения (рис. 7, б). В качестве измерительной головки здесь применяют трубку оптиметра, характеристики которой даны в табл. 1.

Вертикальный оптиметр предназначен для контактных измерений наружных линейных размеров методом сравнения измеряемого изделия с концевыми мерами, калибрами или деталями-образцами.

Горизонтальный оптиметр предназначен для тех же целей, но позволяет кроме измерений наружных размеров проводить измерения внутренних размеров. Стол горизонтального оптиметра может совершать ряд линейных и угловых перемещений, позволяющих проводить точную установку детали по линии измерения.

Как вертикальные, так и горизонтальные оптиметры выпускают с отсчетом в окуляре или на экране.

Принцип действия и оптическая схема трубки оптиметра приведены на рис. 7, в.

В основу оптической схемы прибора положен принцип телескопической автоколлимационной трубы. В оптическую схему прибора входят: зеркало 1, объектив 2, призма 3, сетка 4 и окуляр 8. Осветительную систему составляют зеркало 6 в оправе и призма 7, установленная в рамке окуляра.

Сетка 4 представляет собой стеклянную плоскопараллельную пластинку со шкалой и индексом. Деления шкалы нанесены на верхней половине пластины, закрытой в поле зрения окуляра 8 призмой 7, через которую свет входит в прибор. Поскольку сетка 4 установлена в фокальной плоскости объектива 2, лучи света, проходя его и падая на зеркало 1 параллельным пучком, несут как бы в себе изображение шкалы. Зеркало 1 наклоняется на угол  $\varphi$  с помощью измерительного

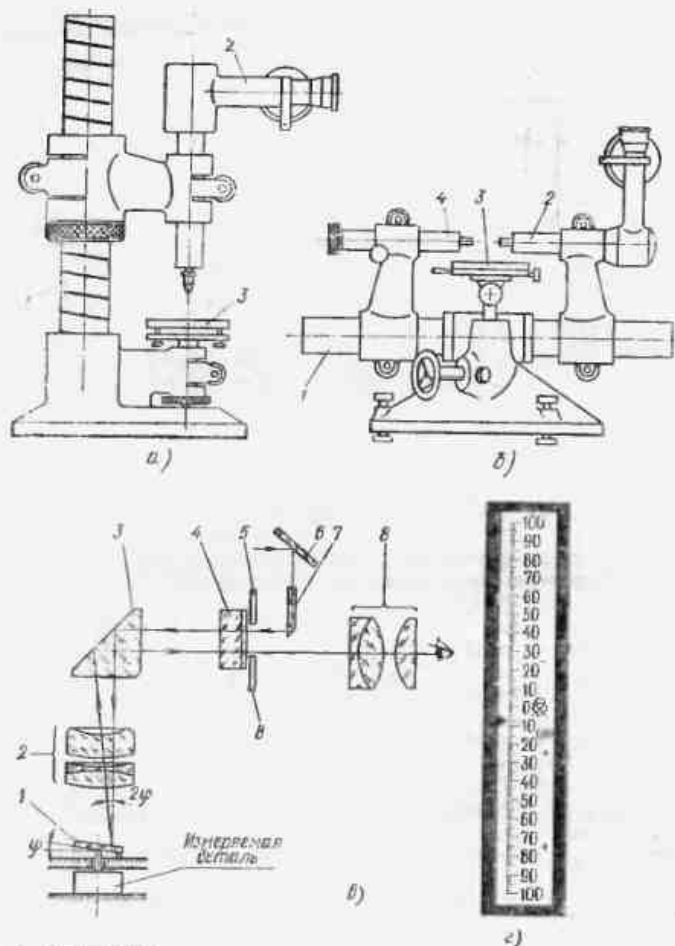


Рис. 7. Оптиметры:

*a* — вертикальный типа ОВО-1; *b* — горизонтальный типа ИКГ; 1 — стойка; 2 — трубка оптиметра; 3 — измерительный стол; 4 — линза с двоякой измерительной плитой; 5 — оптическая схема трубки; 6 — шкала

стержня, передающего на него отклонения измеряемой детали. Лучи света, отразившись от зеркала 1 на угол  $2\varphi$ , снова попадают в объектив, который дает изображение шкалы в нижней части сетки 4, видимой в окуляр 8. В этой части сетки нанесен неподвижный штрих — указатель, по которому производится отсчет показания головки, поскольку изображение шкалы перемещается относительно него на величину, пропорциональную углу наклона зеркала 1.

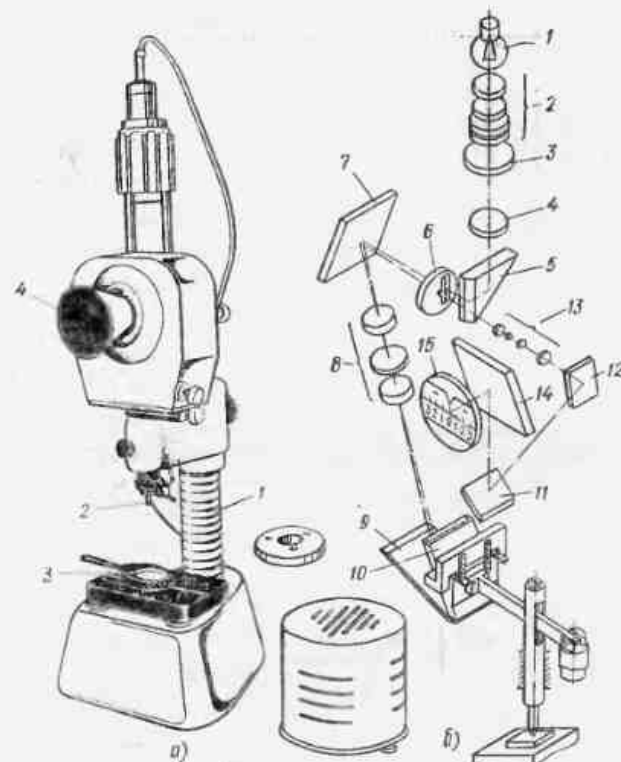


Рис. 8. Оптиметр проекционный типа ОВО-02:

*a* — внешний вид прибора; 1 — стойка; 2 — измерительный наконечник; 3 — измерительный стол; 4 — отсчетное экранное устройство; 6 — оптическая схема

На рис. 7, *г* дан вид шкалы с отсчетом  $+7,5$  делений. Поскольку шкала оптиметра имеет цену деления 1 мкм, отсчет составит величину  $+0,0075$  мм.

Трубки оптиметров выпускают двух типов — с цветными шторками 5 (рис. 7, *в*) и без них. Шторки позволяют установить на шкале, находящейся в нулевом положении, границы поля допуска, что облегчает работу при массовом контроле.

На рис. 8, *а* показан вертикальный проекционный оптиметр ОВО-1 со встроенным в корпус механизмом. Аналогичную конструкцию имеет и оптиметр типа ОВО-02.

Оптическая схема проекционного оптиметра типа ОВО-1 представлена на рис. 8, *б*. Лучи света от источника 1 проходят конденсор 2, теплофильтр 3, линзу 4, призму 5 и освещают шкалу, нанесенную на

## 10. Характеристики приборов на вертикальных стойках

Тип	Цена, делений, мкм	Пределы показаний, мм	Пределы измерений, мм	Предельная погрешность показаний, мкм	Вариация показаний, мкм	Измерительное условие, Н
-----	--------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------------------------	-------------------------	--------------------------

## Оптиметры вертикальные с окуляром по ГОСТ 5405-75

ОВО-1 (ИКВ)	1	±0,1	180	Для любого деления шкалы: в пределах ±60 мкм . . . ±0,2 св. ±60 мкм . . . ±0,3	0,1	20
-------------	---	------	-----	--	-----	----

## Оптиметр вертикальный с проекционным экраном по ГОСТ 5405-75

ОВЭ-02 (ИКП-3)	0,2	±0,025	160	Для любого деления шкалы: в пределах ±15 мкм . . . ±0,07 св. ±15 мкм . . . ±0,1	0,02	5-15
ОВЭ-1 (ИКВ-3)	1	±0,1	200	Для любого деления шкалы: в пределах ±60 мкм . . . ±0,2 св. ±60 мкм . . . ±0,3	0,1	20

## Длиномеры вертикальные по ГОСТ 14028-68

ИЗВ-1	1	0-100	0-250	$\pm (1,5 + \frac{L}{100})$	-	-
ИЗВ-2	1	0-100	0-250	$\pm (1,4 + \frac{L}{160})$	-	-
ИЗВ-3	1	0-100	0-250	$\pm (1,2 + \frac{L}{120})$	-	-

## Интерферометры вертикальные

ИКПВ 261	0,05-0,2	±50 дел.	150	$\pm (0,03 + 1,5n \frac{\Delta\lambda}{\lambda})$	-	8-23
----------	----------	----------	-----	---	---	------

См. примечание к табл. 1.

## 11. Характеристики приборов на горизонтальных стойках

Тип	Цена деления, мкм	Пределы показаний, мм	Пределы измерений, мм	Предельная погрешность показаний, мкм	Вариация показаний, мкм	Измерительное условие, Н
-----	-------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------------------------	-------------------------	--------------------------

## Оптиметры горизонтальные с окуляром или экраном по ГОСТ 5405-75

-	1	±0,1	(0-350)*; (13,5-150)**	Для любого деления шкалы: в пределах ±60 мкм . . . ±0,2 св. ±60 мкм . . . ±0,3	0,1	20 25
---	---	------	---------------------------	--	-----	----------

## Горизонтальные длиномеры (поверка КИЗ по ГОСТ 12441-66)

ИКС-2	1	0-100	(0-500)*; (45-400)**	$\pm (1,4 + \frac{L}{160})^*$ ; $\pm (1,9 + \frac{L}{100})^{**}$	0,1	18-25
ИЗГ	1	0-100	100	$\pm (1 + \frac{L}{100})^*$ ; $\pm (2,5 + \frac{L}{100})^{**}$	0,1	20±6
КИЗ-1 КИЗ-2	1	0-100	100	$\pm (1 + \frac{L}{200})$	0,1	20

## Компараторы горизонтальные

ИЗА-2	1	200	200	$\pm (0,8 + \frac{L}{300 - 4H} \dots)$	0,1	-
-------	---	-----	-----	--	-----	---

## Интерферометры горизонтальные

ИКПГ 273	0,05-0,2	±50 дел.	500	$\pm (0,03 + 1,5n \frac{\Delta\lambda}{\lambda})^{****}$	-	1-20
----------	----------	----------	-----	--	---	------

\* Для наружных измерений.

\*\* Для внутренних измерений.

\*\*\*  $H$  — разность высот расположения пьезоэлемента и образцовой шкалы.\*\*\*\* См. примечание к табл. 1.

стеклянной плоскопараллельной пластине 6. Лучи света, прошедшие через шкалу, отражаются от зеркала 7 и попадают в объектив 8, после чего параллельным пучком падают на зеркало 9, отразившись от которого попадают на качающееся зеркало 10, связанное с измерительным стержнем прибора. Отразившись от зеркала 10 лучи света снова попадают в объектив 8, который дает изображение шкалы на другой половине пластины 6, где нанесен неподвижный штрих — указатель. Объектив 13 с помощью зеркал 12, 11, 14 дает изображение картины, полученной на пластине 6 на экране 15.

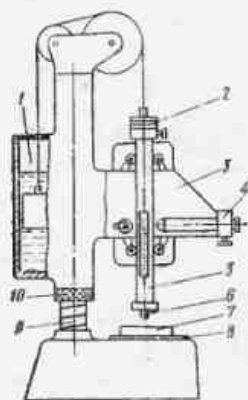


Рис. 9. Вертикальный дилномер типа ИЗВ-1

## 7. ДЛИНОМЕРЫ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Дилномеры и измерительные машины относят к группе приборов, предназначенных для измерения больших длин по одной оси координат.

Дилномеры выпускают на вертикальных и горизонтальных стойках (табл. 10 и 11).

На рис. 9 показан вертикальный дилномер ИЗВ-1. Основная стеклянная шкала его связана с пинюлем 5, несущей на себе измерительный наконечник 6. Пинюль перемещается в шариковых опорах в корпусе кронштейна 3.

Вес пинюли уравновешен противовесом, перемещающимся в масляном демпфере 1. Измерительное усилие переменное и создается грузами 2. Для расширения пределов измерений кронштейн 3 с помощью гайки 10 может подниматься вверх по стойке 4. Для расширения области применения прибор снабжен набором накладных столов 7 разной формы, которые крепят на основном плоском столе 8.

Отсчет по шкале осуществляют с помощью отсчетного микроскопа 4 со спиральным нониусом.

Оптическая схема отсчетного микроскопа дана на рис. 10, а. Свет от источника 1 проходит теплофильтр 2 и конденсор 3, после чего параллельным пучком освещает стеклянную шкалу 4, 5. Объектив 6 дает изображение шкалы в плоскости изображений, где расположены окулярные сетки — подвижная 9 и неподвижная 10. Призмы 7 и 8 в некоторых конструкциях отсутствуют, тогда оптическая ось микроскопа становится прямой. На подвижной сетке нанесена двойная спираль и шкала 3 (рис. 10, б). На неподвижной сетке нанесен неподвижный штрих-указатель со шкалой 2. В плоскость расположения указанных сеток проектируется изображение основной шкалы 1. В поле зрения окуляра 11 (рис. 10, а) видна картина, показанная на рис. 10, б.

Отсчет (рис. 10, б) после поворота двойной спирали в положение ее биссекториального совмещения со штрихом 1

$$A = M + n_1 i_1 + n_2 i_2 + (n_3 + n_0) i_3,$$

где  $i_1 = 1$  мм;  $i_2 = \frac{i_1}{n_2} = \frac{1}{10} = 0,1$  мм;  $i_3 = \frac{i_2}{n_3} = \frac{0,1}{100} = 0,001$  мм.

При  $M = 0$  согласно рис. 10 отсчет

$$A = 46 \cdot 1 + 3 \cdot 0,1 + 62,2 \cdot 0,001 = 46,3622 \text{ мм.}$$

Горизонтальные дилномеры делятся на группы в зависимости от их назначения. Дилномеры на горизонтальных стойках типов ИЗГ

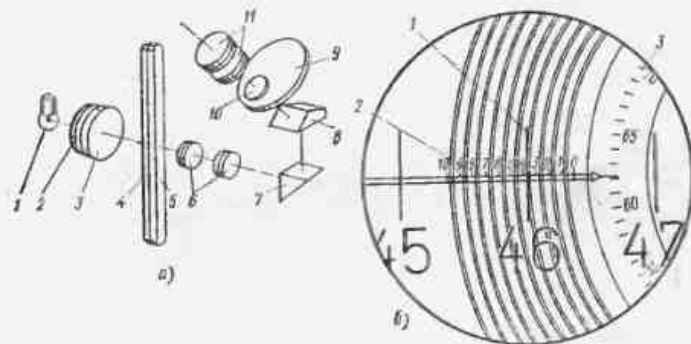


Рис. 10. Спиральный нониус

предназначены для тех же целей, что и горизонтальные оптиметры, но измерения здесь ведут непосредственным методом, без применения установочных мер длины.

Горизонтальный дилномер типа ИКУ-2 предназначен для измерения наружных и внутренних линейных размеров как относительным, так и абсолютным методами.

Горизонтальные дилномеры типа КИЗ предназначены в основном для линейных измерений в полярной и цилиндрической системах координат, в комплекте с оптическими делительными головками.

Характеристики измерительных машин, построенной на базе трубки оптиметра, показана на рис. 11.

На станине 1 перемещаются левая упорная бабка 2 и правая измерительная бабка 6. Для установки измеряемых предметов машина снабжена лонетами 4 или универсальным столом 5. Бабка 6 несет на себе отсчетный микроскоп 8 и трубку оптиметра 7, а бабка 2 — пинюль 3.

На станине машины имеются шкалы: шкала 9 с интервалами 100 мм (штрихи этой шкалы выполнены двойными), по которой устанавливают упорную бабку с пинюлем, и шкала 10 длиной 100 мм с интервалами деления 0,1 мм, по которой устанавливают измерительную бабку с оптиметром.



## 12. Характеристики измерительных машин по ГОСТ 10875—76

Параметры	Типы измерительных машин	Параметры	Типы измерительных машин
	ИЗМ-1; ИЗМ-2; ИЗМ-4; ИЗМ-6		ИЗМ-1; ИЗМ-2; ИЗМ-4; ИЗМ-6
Пределы измерения, мм	1000; 2000; 4000; 6000	Допускаемое отклонение от номинального размера интервала шкалы, мкм: метровой — стоимиллиметровой	$\pm (0,3 + 9 \cdot 10^{-3} L)$ $\pm (0,7 + 5 \cdot 10^{-3} L)$
Наибольший диаметр изделия, устанавливаемого в люнетах, мм	50		
Цена деления метровой шкалы, мм	100	Размах показаний при перемещении предметного стола (при установке штриха шкалы в сектор), мкм, при измерениях: наружных — внутренних	0,2 1,0
Цена деления стоимиллиметровой шкалы, мм	0,1		
Цена деления трубки оптиметра, мкм	1	Изменение показаний при зажиме стопорного винта, мкм: микроподдачи измерительной бабки — пиволи	1,0 0,5
Наибольшая масса измеряемого изделия, кг	10		
Высота линии измерения над стальной $h$ , мм, не менее	130	Коэффициент линейного расширения материала шкалы	10,5—12,6
Расстояние между крайними нижним положением поверхности стола и линией измерения $h_1$ , мм, не менее	50		
Допускаемая погрешность измерения конечных мер методом непосредственной оценки при введении поправки на шкалы, мкм	$\pm (0,4 + 4 \cdot 10^{-3} L)$		

Примечание.  $L$  — измеряемая длина, мм.

Отсчет (рис. 11)

$$A = n_6 i_6 + n_{10} i_{10} + (n_7 + m_7) i_7,$$

где  $i_6 = 100$  мм;  $i_{10} = 0,1$  мм;  $i_7 = 0,001$  мм.  
Тогда

$$A = 1 \cdot 100 + 372 \cdot 0,1 + 68 \cdot 0,001 = 100 + 37,2 + 0,068 = 137,268 \text{ мм.}$$

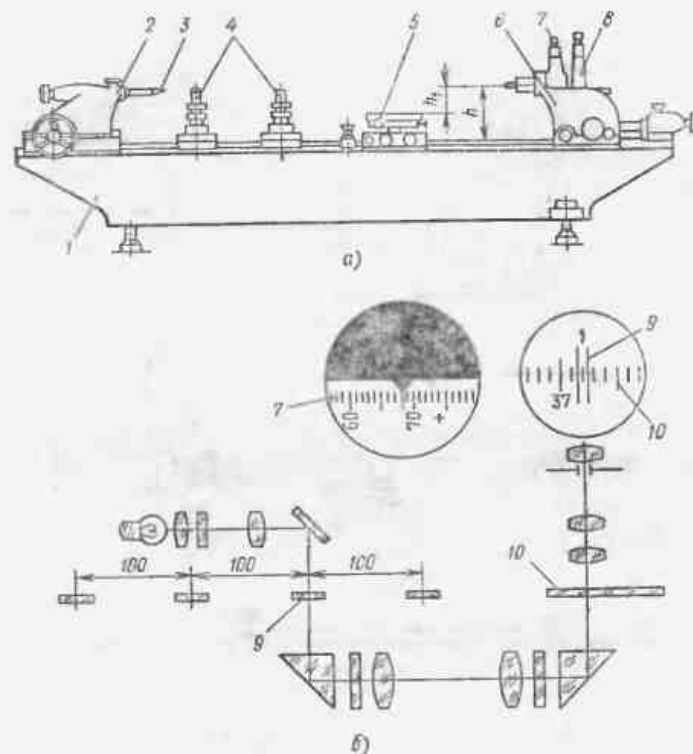


Рис. 11. Измерительная машина типа ИЗМ-10:  
а — общий вид; б — оптическая схема

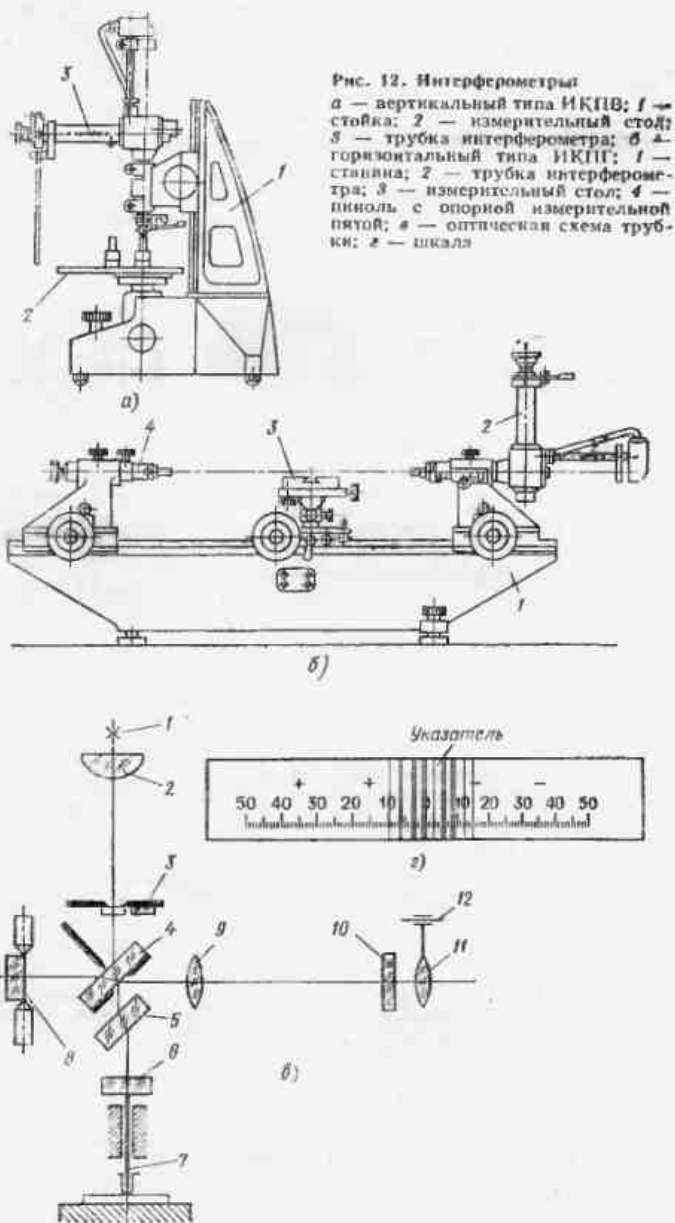
## 8. КОМПАРАТОРЫ

Компараторы (см. табл. 11) служат для проверки штриховых мер длины путем сравнения их с образцовыми штриховыми мерами.

Известны три схемы построения компараторов: с параллельным расположением сличаемых мер, с поперечным или продольным перемещением визирного и отсчетного микроскопов, а также с последовательным расположением сличаемых штриховых мер и последовательным перемещением визирного и отсчетного микроскопов. Последняя схема обеспечивает наибольшую точность, так как в ней исключена компараторная погрешность.

## 9. ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ

Интерференционный метод измерения является одним из наиболее точных, поэтому его применяют в основном для аттестации конечных мер длины высших разрядов. В практике применяют технический, относительный и абсолютный методы измерений.



Технический метод измерения основан на применении плоскопараллельных стеклянных пластин, накладываемых на поверхности измеряемых приборов. Таким методом можно проверить правильность изготовления рабочих поверхностей плиток или измерить отклонения их размеров от концевых мер более высоких разрядов.

Относительный метод измерения может быть бесконтактным или контактным. Первый основан на применении бесконтактного интерференционного компаратора, второй — контактного интерферометра.

Контактные интерферометры с переменной ценой деления выпускают на вертикальных и горизонтальных стойках (рис. 12).

Оптическая схема трубки интерферометра приведена на рис. 12, в. Свет от источника 1 направляется конденсором 2 через щель или непосредственно, или через светофильтр 3 на разделительную плоскопараллельную пластину 4 (полупрозрачное зеркало). Часть луча света, пройдя через нее, проходит затем компенсатор 5 и падает на зеркало 6, отражается от него и вновь проходит через компенсатор 5 к пластине 4. Другая часть луча света, отразившись от полупрозрачного зеркала 4, падает на неподвижное зеркало 8, отразившись от которого снова попадает на разделительную поверхность зеркала 4. Здесь два луча света, отраженные от неподвижного зеркала 8 и подвижного зеркала 6, которое перемещается под действием измерительного стержня 7, встречаются с некоторой разностью хода и интерферируют. Объектив 9 проектирует интерференционную картину в плоскость сетки 10, где она рассматривается через окуляр 11. Окуляр может быть отведен в сторону поворотом вокруг оси 12. При наблюдении в белом свете (без светофильтра) интерференционная картина представляет собой черную ахроматическую полосу, соответствующую нулевой разности хода интерферирующих пучков, по обе стороны которой расположено несколько цветных полос убывающей интенсивности (рис. 12, з). Эта центральная черная полоса является указателем для отсчета по шкале прибора. Отсчет по данному рисунку равен — 2,5 деления. Чтобы оценить величину отсчета в линейной мере, нужно знать цену деления шкалы. Для этого щель перекрывают светофильтром 3, после чего все поле зрения заполняется полосами одинаковой интенсивности. Наклонное зеркало 8 меняют шаг интерференционных полос. Цена деления шкалы  $l = \lambda K / 2n$ , где  $\lambda$  — длина волны, мкм,  $K$  — число полос, поместившихся на участке шкалы в  $n$  делений.

Характеристики интерферометров см. в табл. 10 и 11.

Абсолютный метод измерения. Длину измеряемой меры определяют непосредственно по числу полуволн однородного (монокроматического) света.

## 10. ПРИБОРЫ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Дистанционные измерительные приборы предназначены для проведения бесконтактных измерений в труднодоступных местах или в местах, удаленных от измерительного прибора.

Типичным для этой группы приборов является катетометр (табл. 13).

## 13. Характеристики катетометров

Параметры	Тип		
	КМ-6	КМ-8	КМ-9
Пределы измерения, мм	200	500	1000
Расстояние от объекта до объектива визирной трубы, мм:			
с насадочными линзами	340—965	—	470—2000
без насадочных линз	—	—	2000
Увеличение визирной трубы с насадочными линзами	8—20,5 $\times$	1,8—5,6 $\times$	—
без насадочных линз	—	15,2 $\times$	—
Погрешность измерения (в мкм) при расстоянии от объектива, мм:			
340—380	$\pm 10$	—	—
500—620	$\pm 14$	—	—
730—965	$\pm 21$	—	—
2000	—	$\pm 30$	$\pm 35$
Цена деления уровня:			
круглого	—	7—15'	—
цилиндрического	—	на 2 мм 4' на 3 мм	—

## 11. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЛУПЫ

Лупы измерительные ЛИ (табл. 14) общего назначения имеют в плоскости предметов шкалу, что позволяет производить измерения на поверхности предмета.

## 14. Характеристики измерительных луп по ГОСТ 8309—75

Параметры, мм	Тип		Параметры, мм	Тип	
	ЛИ-3	ЛИ-4		ЛИ-3	ЛИ-4
Увеличение	10 $\times$		Пределы измерения Погрешности измерения, в интервале, мм:	15	
Фокусное расстояние	25				
Поле зрения линейное	16	17			
Расстояние предмета от поверхности линзы	21,5	17,5			
Цена деления шкалы	0,1		0,1	$\pm 0,01$	$\pm 0,015$
			5	$\pm 0,02$	
			10		

## 12. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МИКРОСКОПЫ

Измерительные микроскопы предназначены для линейных и угловых измерений предметов как по одной оси, так и в прямоугольной, полярной, цилиндрической и пространственной системах координат. В качестве

примеров предметов, которые могут быть измерены с помощью таких микроскопов, можно привести резьбовые изделия, режущий инструмент, профильные шаблоны, кулачки и другие изделия сложной формы. Кроме того, на них можно проводить измерения расстояний между центрами отверстий, проверять правильность разметки плоских и пространственных деталей.

В принципе любой измерительный микроскоп состоит из визирного микроскопа, которым фиксируются точки на измеряемом пред-

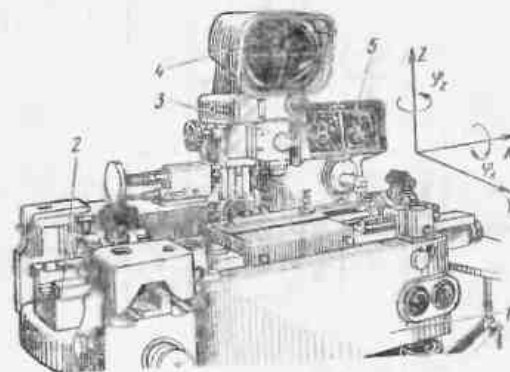


Рис. 13. Универсальный измерительный микроскоп типа УИМ-23:

1 — станция; 2 — измерительный стол; 3 — визирный микроскоп; 4 — визир визирного микроскопа; 5 — экраны отсчетных микроскопов

мете, и стола, несущего на себе этот предмет. Взаимное смещение этих двух частей измеряют с помощью отсчетных устройств, которые выполнены в виде микрометров или отсчетных микроскопов.

Наибольшее распространение получили конструкции измерительных микроскопов шести типов.

В микроскопах 1-го типа отсутствуют линейные перемещения стола и визирного микроскопа. Их применяют для рассмотрения мелких предметов в увеличенном масштабе. Измерения здесь возможны только в пределах поля зрения с применением окулярных микрометров.

В микроскопах 2-го типа визирный микроскоп перемещается только в одном направлении. Эти микроскопы применяют для измерений только по одной оси X. При наличии поворотного стола возможны также измерения в полярной системе координат  $X\varphi_2$  и измерение углов  $\varphi_2$  с помощью угломерного лимба стола (рис. 13).

В микроскопах 3-го типа стол перемещается только в одном направлении. Такие микроскопы применяют для тех же целей, что и микроскопы 2-го типа.

В микроскопах 4-го типа стол перемещается в двух направлениях по осям X и Y, расположение которых аналогично показанному на рис. 13.

Марка	Увеличение вярного микроскопа Поле зрения, мм	Тип отсчетного устройства	Цена деления отсчетного устройства, мм	Пределы измерения мм, по осям			Пределы поворота стола, градус	Пределная погрешность отсчета, мм	Отсчет	Тип конструкции
				X	Y	Z				
Малый микроскоп инструментальный по ГОСТ 8074—71										
ММИ	$\frac{10 \times}{21} ; \frac{30 \times}{7} ; \frac{50 \times}{4,2}$	Микрометр	0,005	75	25	—	$\pm 5$	$\pm 0,003$	В окуляре	4
Большой микроскоп инструментальный по ГОСТ 8074—71										
БМИ	$\frac{10 \times}{21} ; \frac{15 \times}{14} ; \frac{30 \times}{7} ; \frac{50 \times}{4,2}$	Микрометр	0,005	150	50	(100)	360	$\pm 0,003$	В окуляре (на экране)	4
Бинокулярный инструментальный микроскоп по ГОСТ 8074—71										
БИМ	$\frac{10 \times}{18} ; \frac{20 \times}{9} ; \frac{30 \times}{6} ; \frac{60 \times}{3} ; \frac{90 \times}{2}$	Микрометр	0,002	150	75	—	360	—	В окуляре	4
Универсальные измерительные микроскопы										
УИМ-21	—	Отсчетный микроскоп	0,001	200	100	(100)	360 (360)	0,001 $\pm 0,0015$	В окуляре (на экране)	5
УИМ-22			0,01	100	100	(100)				4
УИМ-25			0,01	150	100	(100)				4
УИМ-23			0,001	200	100	—				5
УИМ-24	0,001	500	200	—	5					

Примечания: 1. Данные, приведенные в скобках, относятся к съемным приспособлениям.  
2. Типы микроскопов оговорены автором в тексте.

Эти микроскопы применяют для измерений: по любой из этих осей X или Y; в прямоугольной системе координат XY; в полярной системе координат  $X\varphi_2$  или  $Y\varphi_2$ ; в пространственной системе координат XYZ, при этом визирный микроскоп заменяют вертикальным длиномером; углов  $\varphi_2$ , если микроскоп оснащен поворотным столом; углов на предмете (например, половин угла профиля резьбы), если микроскоп оснащен угломерной окулярной головкой.

В микроскопах 5-го типа стол и визирный микроскоп перемещаются в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Их применяют для тех же целей, что и микроскопы 4-го типа и, кроме того, на них можно проводить измерения в цилиндрической системе координат  $X\varphi_x$  или углов  $\varphi_x$ , если микроскоп оснастить угломерной бабкой.

В микроскопах 6-го типа стол неподвижен, а визирный микроскоп перемещается в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Их применяют для измерения особо тяжелых деталей.

В микроскопах 2—4-го типов для отсчета перемещений пределы измерений расширяют с помощью плоскопараллельных концевых мер длины.

В микроскопах 4—6-го типов применяют отсчетные микроскопы. Характеристики измерительных микроскопов приведены в табл. 15.

Внешний вид универсального измерительного микроскопа типа УИМ-23 с отсчетом показаний на экране дан на рис. 13.

Отсчет (рис. 14) после совмещения штриха 1 с ближайшим слева биссектором шкалы 2

$$A = n_1 i_1 + n_2 i_2 + (n_3 + m_3) i_3,$$

$$\text{где } i_1 = 1 \text{ мм}; \quad i_2 = \frac{i_1}{n_2} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ мм}; \quad i_3 = \frac{i_2}{n_3} = \frac{0,1}{100} = 0,001 \text{ мм}.$$

$$A = 148 \cdot 1 + 5 \cdot 0,1 + 58,5 \cdot 0,001 = 148,5585 \text{ мм}.$$

Точность измерений на таких сложных приборах зависит от многих факторов и может меняться в широких пределах. Величины предельных погрешностей измерений даны в табл. 16.

Возможности каждого из микроскопов зависят от наличия большого числа сменных приспособлений, индексация которых приведена в табл. 17.

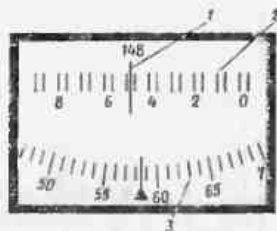


Рис. 14. Отсчетное устройство измерительного микроскопа типа УИМ-23:

1 — основная шкала; 2 — биссектор; 3 — шкала компенсатора

16. Предельные погрешности при измерениях на микроскопах

Метод измерения	Предельные погрешности измерения в мкм (углов — в микругах) для микроскопов типов		
	ММИ	БМИ	УИМ-21 (УИМ-200)
Измерения проекционным (теплым) методом:			
	Длина по оси $x$	$\pm \left( 5 + \frac{L}{20} + \frac{HL}{1800} \right)$	$\pm \left( 3 + \frac{L}{30} + \frac{HL}{4000} \right)$
Длина по оси $y$	$\pm \left( 4 + \frac{L}{16} + \frac{HL}{300} \right)$	$\pm \left( 5 + \frac{L}{14} + \frac{HL}{1000} \right)$	$\pm \left( 3 + \frac{L}{30} + \frac{HL}{4000} \right)$
Диаметры гладких цилиндров	$\pm \left( 7 + \frac{L}{7} \right)$	$\pm \left( 8 + \frac{L}{5} \right)$	$\pm \left( 6 + \frac{L}{70} \right)$
	среднего диаметра резьбы	$\pm \left( 5 + \frac{2}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{3} \right)$	$\pm \left( 5 + \frac{2}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{4} \right)$
шага резьбы	$\pm \left( 3 + \frac{3}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{11} \right)$	$\pm \left( 2 + \frac{3}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{14} \right)$	$\pm \left( 1 + \frac{2}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{30} \right)$
	угла профиля резьбы	$\pm \left( 2 + \frac{1,7}{P} \right)$	$\pm \left( 2 + \frac{1,7}{P} \right)$
Измерения методом осевого сечения (с помощью ножей):			
	диаметры гладких цилиндров	—	—
среднего диаметра резьбы	—	—	$\pm \left( 1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{150} \right)$
шага резьбы	—	—	$\pm \left( 1 + \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{170} \right)$
угла профиля резьбы	—	—	$\pm \left( 2,5 + \frac{7}{P} \right)$

Примечание.  $L$  — измеряемая длина, мм;  $H$  — высота изделия над стеклом стола, мм;  $\alpha$  — угол профиля резьбы, градусы;  $P$  — шаг резьбы, мм.

## 17. Комплектация измерительных микроскопов

Микроскопы	Объективы	Окулярные головки	Проецирующие экраны	Контактные приспособления	
ММИ	1 $\times$ , 3 $\times$ , 5 $\times$	ОГУ-21	—	—	
БМИ, УИМ-22, УИМ-25	MT-24 MT-24a 1 $\times$ MT-23 MT-23a 1,5 $\times$ MT-21 MT-21a 3 $\times$ MT-22 MT-22a 5 $\times$	ОГР-21, ОГР-23, ОГУ-22	ПН-7	ИЗО-1	
УИМ-21					
УИМ-23	—	Экран свой	—	—	
УИМ-24	1 $\times$ , 2 $\times$ , 3 $\times$				
Микроскопы	Длинномеры	Поворотные столы	Угломерные бабки	Столы с центрами	Призматические опоры
ММИ	—	—		—	
БМИ, УИМ-22, УИМ-25	ИЗВ-21	Стол свой	—	СТ-22	—
УИМ-21		СТ-9	ИБ-21М		ОП-21 ОП-23
УИМ-23	—	СТ-25 (СТ-26) СТ-24	ИБ-23		—
УИМ-24	ИЗВ-24		ИБ-24		

## 13. ПРОЕКТОРЫ

Проекторы предназначены для контроля или измерения деталей сложного контура.

Проектор состоит из объектива, дающего увеличенное изображение предмета, и экрана, на котором изображение рассматривается или сравнивается с сетками или предельными контурами глазом. Все остальные части (осветители, зеркала, призмы и др.) служат лишь для освещения детали и изменения хода лучей в системе с целью получения удобной и малогабаритной конструкции проектора. Для установки

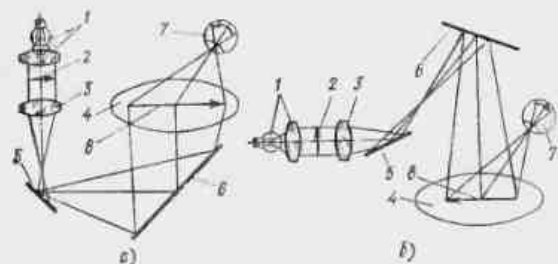


Рис. 15. Оптические схемы проекторов:

а — с прозрачным экраном; б — с непрозрачным экраном; 1 — осветитель; 2 — предмет; 3 — объектив; 4 — экран; 5, 6 — зеркала; 7 — глаза; 8 — изображение предмета на экране

и крепления предметов проектор снабжен измерительными столами и набором приспособлений.

Проекторы работают в проходящем или отраженном свете (рис. 15).

#### 14. ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ И РАСТРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

**Счетные растровые и интерференционные преобразователи.** Преобразователи для измерения перемещений суппортов, столов, кареток станков и измерительных приборов, основанные на способе счета приращений, обычно содержат двухфазные интерференционные или растровые звенья (рис. 16).

Первая схема (рис. 16, а) является интерференционным звеном, содержащим измерительное и относительное зеркала 1 и 2, разделительную и компенсирующую пластины 3 и 4, источник света 5, светофильтр 6, оптическую систему 7, делящую поток на две части, и два

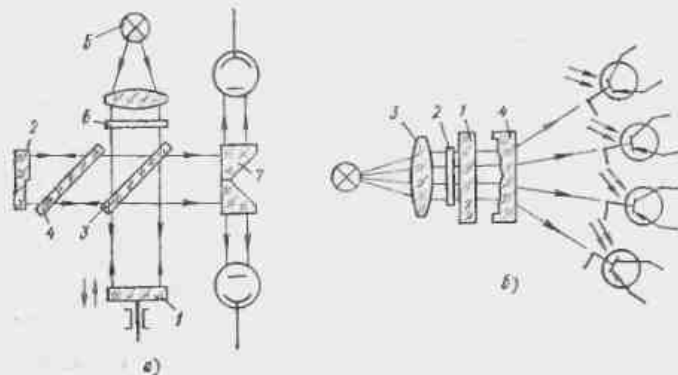


Рис. 16. Интерференционное и растровое измерительные звенья

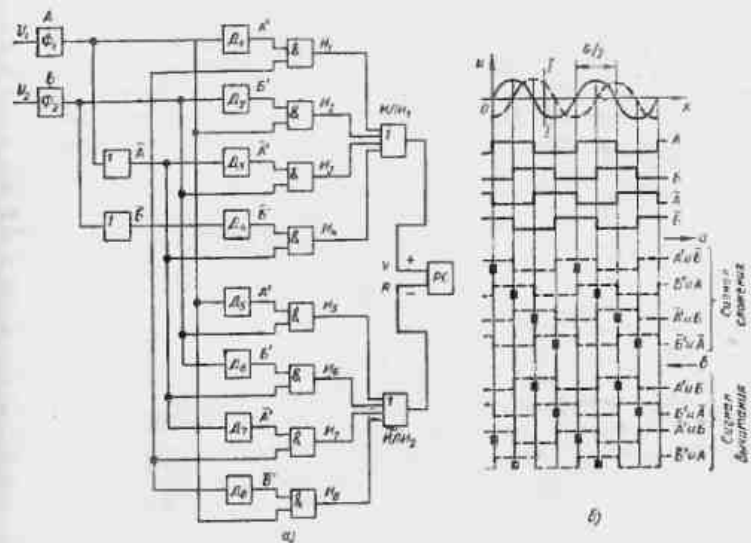


Рис. 17. Схема и диаграмма импульсов световой измерительной системы

фотоэлемента. Разность пространственных фаз получается за счет уступа на зеркале 2, равного  $1/\lambda$ .

В качестве примера растровой двухфазной системы можно привести измерительную систему Ферранти, применяемую для измерения координат перемещающихся столов в приборах типа компараторов, станках с программным управлением и т. п. На рис. 16, б приведена схема двухфазного фотобалансного звена подобной измерительной системы. Звено содержит измерительный 1 и индикаторный 2 растры, осветительную лампу с конденсором 3, разделительную линзу 4 и четыре фотоприемника.

Сдвиг пространственных фаз в фазовых растровых измерительных системах осуществляют за счет соответствующего расположения щелей диафрагмы, устанавливаемой между растровым полем и фотоэлементами. Для получения сигналов, сдвинутых на величину  $\pi/2$ , щели располагают на расстоянии  $\frac{1}{4} G$  одна от другой. Получают два напряжения от двух фотоприемников:

$$u = U \sin \frac{2\pi}{G} X; \quad u = U \sin \left( \frac{2\pi}{G} X + \frac{2\pi}{G} \frac{G}{4} \right) = U \cos \frac{2\pi}{G} X.$$

Блок-схема измерительного устройства с реверсивным счетчиком растровых или интерференционных полос, позволяющая получить четыре импульса на одну полосу, и диаграмма импульсов представлены на рис. 17, а, б.

От фотоприемников измерительной системы сигналы  $A$  и  $B$ , сдвинутые по пространственной фазе на  $1/4$  полосы, поступают в формирователи  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . Эти сигналы далее поступают на фазовращатели  $\Phi B_1$  и  $\Phi B_2$ , где они сдвигаются по фазе на  $180^\circ$ . Таким образом, на выходе формирователей образуются четыре прямоугольных напряжения:  $A$ ,  $\bar{A}$ ,  $B$ ,  $\bar{B}$ , три из которых сдвинуты относительно каждого предыдущего на величину  $\pi/2$  по пространственной фазе. Эти напряжения служат для управления блоком реверса счетчика полос. Для формирования сигнала сложения служат четыре схемы  $I_1$ , с выхода которых импульсы поступают на схему  $ИЛИ_1$ , а для формирования сигнала вычитания — четыре другие схемы  $I_1$ , с выхода которых сигналы поступают на схему  $ИЛИ_2$ . На потенциальные входы схем подаются прямоугольные напряжения, а на импульсные входы — импульсы, полученные дифференцированием положительных фронтов прямоугольных напряжений дифференцирующими цепями  $D_1$ — $D_8$ .

При прямом ходе подвижных частей измерительной системы в направлении, показанном на диаграмме стрелкой  $a$ , через схему  $I_1$  проходят только положительные продифференцированные импульсы  $A'$ , так как в момент прихода этих импульсов на потенциальном входе имеется напряжение  $\bar{B}$  (на диаграмме показано штриховой линией). Через схему  $I_2$  импульсы  $A'$  не проходят, так как на ее потенциальном входе в этот момент напряжение отсутствует.

При обратном ходе в направлении, показанном на диаграмме стрелкой  $b$ , на потенциальный вход схемы  $I_2$  поступает напряжение  $B$ , и импульсы  $A'$  проходят через нее, в то время как эти импульсы через схему  $I_1$  не проходят.

Таким образом, счетные импульсы  $A'$ , сформированные от напряжения  $A$ , при прямом ходе подвижных частей измерительной системы попадают на схему  $ИЛИ_1$ , а при обратном ходе их — на схему  $ИЛИ_2$ . Аналогично работают другие схемы  $I$ .

Импульсы от схем  $ИЛИ_1$  и  $ИЛИ_2$  управляют триггером реверса с разомкнутыми счетными входами. Переключение схемы реверса происходит следующим образом. Пусть подвижные части измерительной системы остановились в положении  $I-1$  (см. рис. 17, б). Тогда при прямом ходе от сигнала  $\bar{B}$  образуется импульс  $+B'$ , который пройдет через схему  $I_2$  и в триггер реверса и переключит его в положение суммирования. В то же время импульс  $B'$  через схему  $I_1$  не проходит, так как в этот момент схема закрыта напряжением  $A$ . Каждые последующие импульсы  $+A'$ ,  $+B'$ ,  $+\bar{A}'$ ,  $+\bar{B}'$ , проходящие через схему  $ИЛИ_1$ , не изменяют положения этого триггера.

При обратном ходе из положения  $I-1$  от сигнала  $A$  образуется импульс  $-A'$ , который проходит через схему  $I_2$ , а через схему  $I_1$  не проходит, так как она закрыта в этот момент напряжением  $\bar{B}$ . Этот импульс через схему  $ИЛИ_2$  проходит на другой вход триггера и переключает его.

За один период на счетчик поступят два импульса со схемы  $ИЛИ_1$  и два со схемы  $ИЛИ_2$ . Таким образом, за один период на счетчик поступают четыре импульса.

В качестве реверсивных счетчиков применяют как двоичные, так и десятичные счетчики.

**Растровая нулевая измерительная система.** Автоматические отсчетные устройства не только автоматизируют процесс формирования отсчета, но также позволяют автоматизировать процессы регистрации и математической обработки результатов измерения.

Принцип действия измерительной системы (рис. 18) основан на преобразовании светового потока, проходящего через две растровые решетки — измерительную  $1$  и индикаторную  $2$ . Измерительную решетку закрепляют на подвижных частях прибора или станка (например, на выносе длинномера или на столе координатно-расточного станка), положения или перемещения которых измеряются.

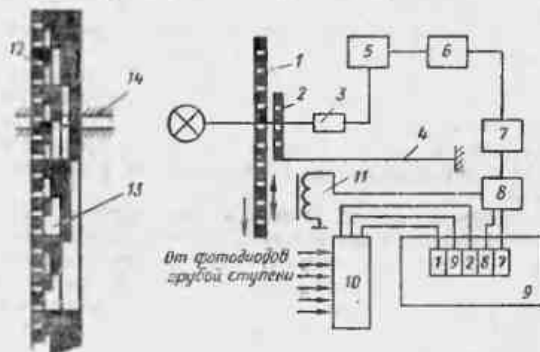


Рис. 18. Растровая нулевая измерительная система

Измерительную головку с индикаторной решеткой устанавливают на неподвижных частях прибора или станка. В измерительной головке размещены осветитель, фотодиод  $3$  и электромагнитный механизм  $4$ , служащий для отсчета перемещений измерительной решетки в диапазоне шага. Расстояние между двумя соседними штрихами решетки (т. е. ее шаг) равно  $0,1$  мм.

Электрическая схема измерительной системы содержит точную  $ТС$  и грубую  $ГС$  ступени отсчета, блок индикации  $БИ$  и источника питания (на схеме не показаны). Точная ступень предназначена для отсчета десятых, сотых и тысячных долей миллиметра. Эта ступень состоит из усилителя  $5$  демодулятора  $6$ , нуля-органа  $7$  и шагового коммутатора  $8$ . Сигнал точной ступени с выхода фотодиода  $3$  через усилитель  $5$  поступает на демодулятор  $6$ , в результате чего при перемещении измерительной решетки на его выходе образуется напряжение изменяющейся полярности.

Положения измерительной решетки, при которых на выходе демодулятора напряжение отсутствует, принимают за нулевые, в результате чего образуется шкала нулевых положений перемещающихся частей прибора или станка. В точной ступени нулевые положения расположены на расстоянии шага измерительной решетки, равного  $0,1$  мм. Долю этого расстояния определяют путем смещения индикаторной решетки к нулевому положению и измерения этого смещения. Эти операции (смещение и измерение) осуществляют следующим образом.

С помощью автоматически переключающегося шагового коммутатора ток в обмотке электромагнитного механизма изменяется. Изменение тока влечет за собой изменение магнитного потока в зазоре электромагнитной системы механизма II, а, следовательно, изменение положения якоря с индикаторной решеткой. При смещении индикаторной решетки к нулевому положению напряжение демодулятора обращается в нуль. При этом срабатывают нуль-органы и шаговые коммутаторы останавливаются. Состояние, в котором находятся остановленные шаговые коммутаторы, а следовательно, и показания отсчета доли шага решетки соответствуют числу из двух последних цифр блока индикации (в нашем случае 87).

Грубую ступень отсчета выполняют в виде кодового преобразователя перемещений. Для этого рядом с измерительной решеткой нанесена кодовая шкала 13 (рис. 18), состоящая из нескольких дорожек, на которых нанесены участки непрозрачного покрытия, образующие двоично-десятичный циклический код. Против каждой дорожки расположено по одному фотодиоду. Свет от осветителя, проходя через кодовую линейку и экран со щелью 14, попадает на фотодиоды (на схеме не показаны).

Каждый фотодиод грубой ступени в зависимости от того, перекрывается ли щель затемненным участком кодовой шкалы или нет, находится в одном из двух состояний — открытом или закрытом. Сигнал от фотодиодов поступает в дешифратор 10, который после преобразования подается в блок индикации 9. Первые две цифры отсчета показывают перемещения в десятых долях миллиметров и целых миллиметрах (в нашем случае 1,92).

Таким образом, общий отсчет измеряемого размера или перемещения подвижных частей измерительной системы на заданную величину определяется автоматически как разность показаний, соответствующих начальному и конечному положению перемещающихся частей.

Отсчет фиксируется на табло или на бумаге с помощью цифрочечатящего механизма. На рис. 18 этот размер или перемещение составляет 1,9287 мм. Измерительный сигнал может быть также подан на сервопривод для приведения подвижных частей станка в заданное положение.

Точность измерительной системы может составлять в зависимости от задачи измерения 0,1—1 мкм.

**Интерференционная нулевая измерительная система.** Общность свойств многих растровых и интерференционных сопряжений позволяет применить к интерферометрам многие положения, принятые для растровых экстремальных систем. На рис. 19 представлена блочная схема фотоэлектрической интерференционной экстремальной измерительной системы, применяемой в фотоэлектрическом интерферометре для исследования малых деформаций различных объектов или их перемещений.

Система состоит из интерференционного датчика *Д*, блока преобразования сигнала *БС*, шагового распределителя *ШР* и блока питания *БП*. Интерференционный датчик представляет собой двухлучевой интерферометр Майкельсона, на выходе которого установлен фотоприемник. В корпусе интерферометра размещены следующие основные узлы: узел индикаторного зеркала *1*, закрепленного на подвижных пластинах отсчетного пьезоэлектрического преобразователя (ОПЭП); узел осветителя с лампой накаливания *2*, конденсором *3*

и светофильтром *4*; разделительной *5* и компенсирующей *6* пластины и узел фотоэчейки с объективом *7*, фотоэлектронным умножителем *8* и делителем высокого напряжения *9*.

Параллельный пучок монохроматического света от осветителя падает на плоскопараллельную светоделительную пластину *5* и расщепляется на два когерентных пучка. Первый пучок проходит на зер-

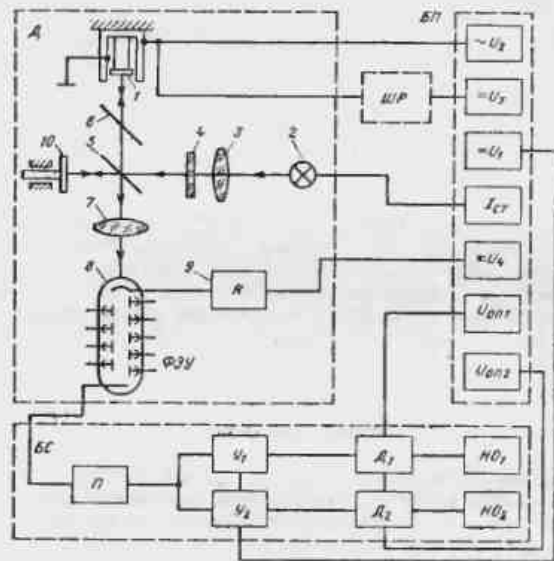


Рис. 19. Интерференционная нулевая измерительная система

кало *10*, а второй, отражаясь от пластины, — на зеркало *1*. После отражения от зеркал пучки снова соединяются у пластины *5* и выходят в направлении фотоэлектронного умножителя *8*.

Узел индикаторного зеркала с ОПЭП позволяет производить регулировку перпендикулярности плоскости зеркала к оптической оси интерферометра с помощью специального карданного шарнира, имеющего подпружиненный хвостовик, в который упираются два регулировочных винта. Оси винтов расположены под прямым углом.

Измерительное зеркало *10* интерферометра может быть установлено либо на специальной подвеске, прикрепляемой к корпусу интерферометра, либо на объекте, перемещение которого необходимо измерять. В первом случае интерферометр является контактным, во втором — бесконтактным. В качестве измерительного зеркала может служить также поверхность концевой меры или зеркально обработанный участок поверхности измеряемого объекта. Площадь зеркала равна 1 см<sup>2</sup>, однако в случае необходимости она может быть уменьшена до 1—2 мм<sup>2</sup>. Сопряжение зеркал интерферометра может быть осуществлено так,



чтобы во входном зрачке фоточайки образовались интерференционные полосы.

Блок преобразования измерительного сигнала *БС* содержит усилители  $У_1$  и  $У_2$  и выходные блоки в виде нуль-органов  $НО_1$  и  $НО_2$ , включенные на выход демодуляторов  $D_1$  и  $D_2$ .

Шаговый распределитель интерферометра *ШР* в отличие от шагового распределителя растровой системы представляет собой делитель напряжения. Так как ОПЭП не потребляет тока, то делитель напряжения не нагружен и стабилизатор может быть собран по простейшей схеме, например параметрической.

Блок питания *БП* содержит стабилизированный источник постоянного напряжения  $U_3$  для питания шагового распределителя *ШР*; источник переменного напряжения  $U_2$  для привода пластин ОПЭП в колебательное движение с целью сканирования; стабилизированный источник постоянного тока  $I_{ст}$  для питания лампы осветителя; стабилизированный источник высокого напряжения  $U_4$  для питания ФЭУ; источник питания блока преобразования сигнала  $U_1$  и источники опорного напряжения  $U_{оп1}$  и  $U_{оп2}$  фазовых демодуляторов блока *БС*.

Работа интерферометра осуществляется следующим образом. Зеркало *I* в результате приложения к обкладкам пластин ОПЭП переменного напряжения колеблется с амплитудой, равной приблизительно одной восьмой длины волны монохроматического источника света. В произвольном положении индикаторного зеркала *I* относительно измерительного зеркала *Ю* в составе сигнала, образующегося на нагрузке ФЭУ, имеется ряд гармонических составляющих. По величине амплитуд основными составляющими являются первая и вторая гармоники.

При перемещении измерительного зеркала относительно индикаторного (или наоборот) в местах максимумов и минимумов распределения освещенности, расположенных друг от друга на расстоянии  $\lambda/4$ , сигнал первой гармоники  $U_{01}$  равен нулю. Эти точки принимают за нули отсчетной шкалы фотозлектрической интерференционной системы.

Отсчет перемещений на долю длины волны производится посредством перемещения индикаторного зеркала к ближайшему левому нулевому положению при подаче на обкладки ОПЭП соответствующей величины постоянного напряжения от источника  $U_3$  через шаговый распределитель *ШР*. В интерференционной системе, так же как и в растровой, за нулевые положения могут быть приняты либо только максимумы или минимумы характеристики освещенности, либо и максимумы и минимумы. В первом случае ОПЭП работает в диапазоне  $\lambda/2$ , а во втором — в диапазоне  $\lambda/4$ . Так как в обоих случаях относительная точность работы ОПЭП одинакова, то, естественно, абсолютная точность отсчета долей длины волны во втором случае в 2 раза выше.

Когда зеркала интерферометра находятся в произвольном относительном положении, напряжение на выходе демодулятора не равно нулю и нуль-орган показывает отклонение системы от нулевого положения. При этом индикаторное зеркало должно быть смещено к нулевому положению с помощью шагового распределителя *ШР*, о чем указывает нуль-орган  $НО_1$ . По состоянию шагового распределителя, например по положению ручки его переключателя, можно судить о величине поданного на обкладки ОПЭП напряжения, а следовательно, и о величине смещения измерительного зеркала от нуля шкалы системы.

Если за нулевые положения измерительной системы приняты только максимумы распределения освещенности, то нуль-орган, включенный на фазовый демодулятор усилителя  $У_2$ , будет срабатывать либо только в максимумах, либо только в минимумах характеристики освещенности фотозлектрического звена. Таким образом, за нулевое положение принимают только один из экстремумов в пределах периода характеристики освещенности.

Если за нулевые положения приняты и максимумы и минимумы, то нуль-орган  $НО_2$  служит для переключения полярности сигнала на выходе демодулятора  $D_1$ .

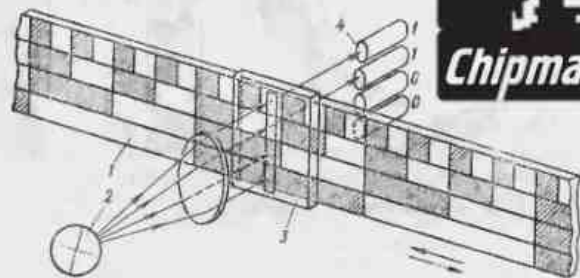


Рис. 20. Схема простейшего датчика в нулевом положении

Кодовые датчики положения. При дискретном измерении линейного или углового положения производится кодирование измеряемой величины. Эта величина представляется системой некоторых символов или кодом, обозначающим число. При дискретном измерении единицей (в информационном смысле) является некоторая неделимая часть измеряемой величины, в нашем случае — перемещения.

Так как в вычислительной технике наибольшее распространение получила двоичная система счисления, когда любое число представляется двумя символами: 0 и 1, то и датчики положения, в основе которых лежит кодирование, также строят чаще всего по двоичной системе счисления. Это позволяет применять для технического воспроизведения двоичного кода устройства, реагирующие на наличие или отсутствие тока, потенциала, света и подобных им величин.

В оптических датчиках кодовая шкала *I* (рис. 20) наносится на прозрачный материал, например стекло. По одну сторону кодовой шкалы помещают осветитель *2* и диафрагму со щелью *3*, а по другую сторону против каждой дорожки — фотоприемники *4*, обычно фотодиоды. Непрозрачные участки соответствуют числу 0, т. е. отсутствию освещенности фотодиода, а прозрачные участки — числу 1.

Благодаря наличию постоянной кодовой шкалы на подвижных частях какого-либо устройства их положение постоянно кодируется, причем начало отсчета по кодовой шкале всегда совпадает с начальным положением подвижных частей устройства. Таким образом, изменению положения кодовой шкалы на некоторую дискретную величину соответствует новая определенная комбинация светлых и темных участков

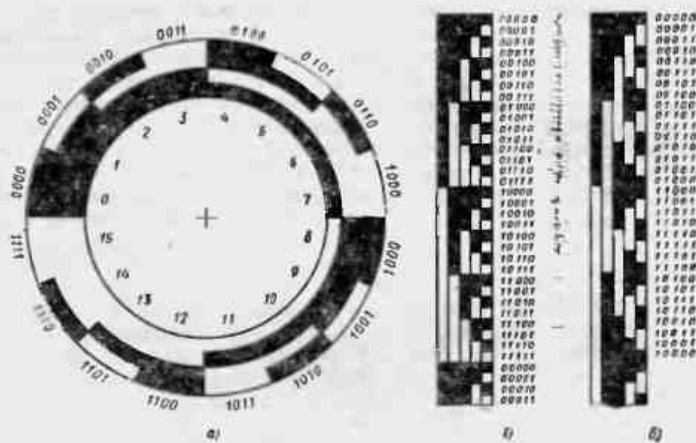


Рис. 21. Кодовые линейные и угловые меры

на дорожках кодовой шкалы, находящихся против световой щели. При засветке фотодиодов на их выходе образуются сигналы, комбинации которых дают числовой отсчет положения кодовой шкалы.

Фотоэлектрические кодовые датчики обладают рядом преимуществ перед другими: отсутствие контактирующих частей, отсутствие силового взаимодействия между подвижными частями, большое быстродействие, высокая разрешающая способность и т. п.

Для кодирования пространственного положения применяются линейные и круговые кодовые шкалы. На рис. 21 представлены кодовые шкалы для кодирования линейных и угловых величин.

На рис. 21, а представлена круговая шкала в виде лимба, позволяющая производить отсчет  $1/16$  кругового положения вала.

Оптические кодовые датчики при приемлемых габаритах имеют разрешающую способность, позволяющую получить до 18 двоичных разрядов на один поворот вала механизма при скорости считывания 6000 отсчетов в секунду.

В двоичной системе счисления для получения числа разрядов  $n$  необходимо иметь  $n$  кодовых дорожек.

Выбор числа разрядов для кодовой шкалы производится по заданной единице отсчета  $\delta$ :  $n = \log_2 360/\delta$ .

В табл. 18 приведены соотношения между числом разрядов и дискретностью отсчета положения вала.

Коды, изображенные на рис. 21, а и б, имеют существенный недостаток, связанный с неопределенностью считывания кода на границе темного и светлого участков по всем разрядам. Неопределенность считывания возникает из-за конечной ширины световой щели, разброса характеристик фотоприемников, нестабильности светового потока и т. п. Неопределенность может привести к ошибке на величину, равную единице старшего разряда.

Неопределенность считывания из-за изменения кода сразу в нескольких разрядах можно ликвидировать, применив такой код, при

## 18. Соотношения между числом разрядов и единицей отсчета

$\delta$	$n$	$\delta$	$n$	$\delta$	$n$
$2^\circ 48' 45''$	7	$2' 38''$	13	$0' 2,5''$	19
$1^\circ 24' 22''$	8	$1' 19''$	14	$0' 1,25''$	20
$42' 11''$	9	$0' 39''$	15	$0,62''$	21
$21' 6''$	10	$0' 20''$	16	$0,31''$	22
$10' 33''$	11	$0' 10''$	17	$0,15''$	23
$5' 16''$	12	$0' 5''$	18	$0,08''$	24

котором переход от одного числа к соседнему сопровождался бы переменной кода только в одном разряде. На рис. 21, в показан однопеременный код Грея. Код строится таким образом, что шаг шкалы кодовой дорожки каждого старшего разряда в 2 раза больше по сравнению с шагом кодовой шкалы предыдущего разряда. Темные участки старших разрядов начинаются посредине темного или светлого участка дорожки младшего разряда. В датчиках с таким кодом неопределенность считывания сигнала при переходе границы черного и белого участков, или наоборот, не превышает единицы младшего разряда.

Из рис. 21, б и в следует, что если щель считывания находится, например, на границе чисел 32 и 31, то при двоичном коде возможен любой отсчет от 0 до 31 (все нули или все единицы). При коде Грея уверенный отсчет будет во всех старших разрядах, так как ширина щели полностью укладывается на темных или светлых участках. Только в младшем разряде отсчет может быть либо 31 (10 001), либо 32 (10 000), т. е. неопределенность считывания в этом случае равна единице младшего разряда.

## ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ. КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ



### 1. ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ

При измерении отклонений от прямолинейности и плоскостности широко применяют различные механические устройства, в которых носителем исходных прямых, относительно которых определяют отклонения, являются поверочные линейки, плиты, натянутая струна, и оптико-механические приборы, в которых исходной прямой служит луч света. При измерении отклонений от прямолинейности сличением с поверочной линейкой (рис. 1, а) на исследуемой поверхности 1 располагают две плоскопараллельные концевые меры длины 2 (ГОСТ 9038—73\*) с одинаковым номинальным размером, на которые устанавливают поверочную линейку 3. Концевая мера 4 имеет меньший номинальный размер, и поэтому между ней и рабочей поверхностью линейки образуется просвет. Перемещая по изделию концевую меру 4, измеряют величину просвета с помощью щупов (ГОСТ 882—75), образцов просвета или измерительных микроскопов, и по изменению этой величины судят об отклонении от прямолинейности. Используемые при измерениях поверочные линейки типов ЛД, ЛТ, ЛЧ, ШЛ, ШД, ШМ и УТ с длинами от 80 мм до 4000 мм выпускают по 0, 1 и 2-му классам точности. В зависимости от класса и типоразмера наибольшее допускаемое отклонение от прямолинейности (для линейки типа ЛД, ЛТ и ЛЧ) и от плоскостности (для остальных типов) колеблется от 0,6 до 100,0 мкм (ГОСТ 8026—75). Вместо концевой меры могут быть использованы измерительные головки 1 на штативе, установленном на поверочной плите 2 (рис. 1, б). Головку перемещают относительно исследуемой поверхности 1, производя при этом отсчет по шкале (рекомендации СЭВ РС 5384—76). Измерение отклонений от прямолинейности оси осуществляют при вращении детали 1 на поверочной плите 2 (рис. 1, в). Величина отклонения б равна размаху показаний измерительной головки. Применяемые при измерениях поверочные плиты выпускают размерами от 160×160 мм до 2500×1600 мм. Допускаемые отклонения от плоскостности зависят от классов точности (для чугунных плит установлены 00; 0; 1; 2 и 3-й классы, для плит из твердых каменных пород — 01; 0 и 1-й классы) и типоразмера плиты и колеблются от 2,5 до 100 мкм (ГОСТ 10905—75; ТУ 2-034-802—74).

При измерении отклонений от прямолинейности сличением с натянутой параллельно поверхности исследуемого изделия струной расстояние между струной и изделием определяют с помощью измерительного микроскопа либо микровинта, устанавливаемого на контролируемой поверхности, вращением которого замыкается электрическая цепь струна — изделие (РС 5384—76). Погрешности измерения определяются колебаниями, остаточной деформацией и разнотолщиной струны, с одной стороны, и погрешностью установки на поверх-

ности изделия и отсчета по шкале микроскопа или микровинта — с другой стороны. Способ рекомендуется применять для проверки отклонений от прямолинейности вертикальных поверхностей, так как при горизонтальном расположении струны вносится дополнительная погрешность за счет ее прогиба. Погрешность измерения для поверхностей длиной 10 м составляет 30—40 мкм, длиной 30 м — 130—140 мкм [9].

Для измерения отклонений от плоскостности используют устройства, обеспечивающие создание исходной плоскости, относительно которой и производится измерение. Так, в накладном измерительном устройстве (рис. 2, а) на исследуемой поверхности 1 установлены две поверочные линейки 2 на регулируемых опорах 5. Уровнем 4 и поперечной линейкой 3 ориентируют рабочие поверхности линеек 2 в одной плоскости, которая и является базой при измерениях. На поверхности изделия устанавливают штатив 6 с закрепленной на нем измерительной

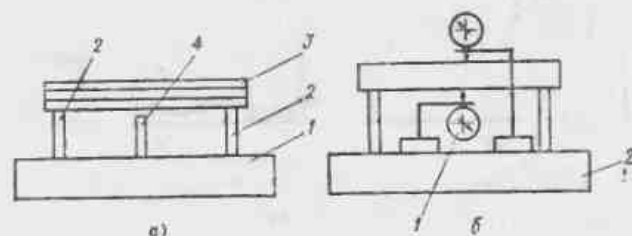


Рис. 1. Схемы измерения отклонений от прямолинейности

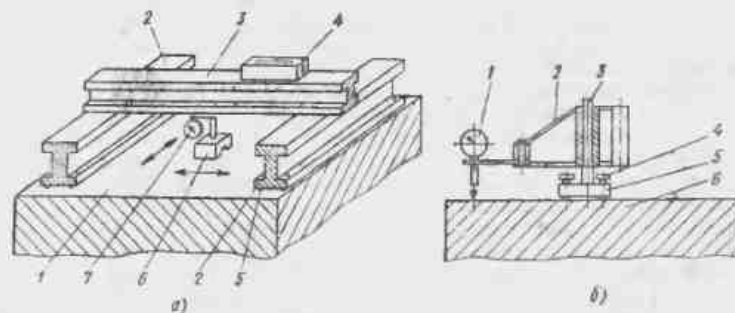
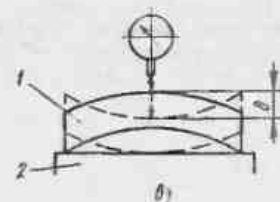


Рис. 2. Схемы измерения отклонения от плоскостности

головкой 7, наконечник которой при измерениях касается образцовой поверхности линейки 3. Перемещая штатив с измерительной головкой и поперечную линейку и производя при этом считывание показаний со шкалы, получают информацию об отклонениях от плоскостности исследуемой поверхности. В плоскомерах конструкции ЭНИМС и завода «Калибр» (рис. 2, б) измерительная головка 1, шарнирно закрепленная на карусели 2, может свободно вращаться вокруг колонны 3. Плоскость движения измерительной головки является исходной. Для параллельности исходной плоскости и поверхности изделия положение колонны с основанием 5, устанавливаемой на измеряемой детали 6, регулируется

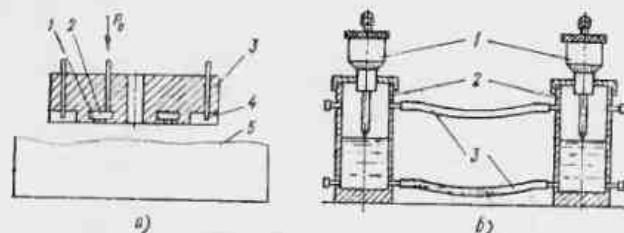


Рис. 3. Схемы измерения отклонения от плоскостности с аэро-статическим базированием измерительного устройства и с помощью закрытых гидростатических уровней

винтами 4. Отклонения от прямолинейности или плоскостности определяются как наибольший размах показаний измерительной головки, последовательно перемещаемой по исследуемой детали. Наибольший диаметр окружности, описываемый рабочим наконечником измерительной головки и определяющий размеры проверяемых поверхностей, равен 1800 мм, диаметр установочной площадки 220 мм или 440 мм в зависимости от типоразмера плоскомера. Плоскомеры комплектуют измерительными головками с ценой деления 0,01 и 0,02 мм [19]. В устройствах для измерения отклонения от плоскостности с аэро-статическим базированием в качестве исходной используют среднюю плоскость исследуемой поверхности. Основной устройством (рис. 3, а) является измерительный диск 3, накладываемый на проверяемую деталь 5. При подаче стабилизированного давления  $P_0$  в камеры 2 и истечении сжатого воздуха через базирющие сопла 1 между поверхностями детали и измерительного диска образуется зазор, при этом средние плоскости поверхностей детали и диска устанавливаются параллельно. Отклонения от плоскостности воспринимаются бесконтактным пневматическим преобразователем через измерительные сопла 4 при перемещении измерительного диска относительно изделия. Пневматическая система измерительной цепи содержит показывающий прибор с ценой деления 1 мкм. При величине отклонения от плоскостности поверхности детали 54 мкм и давлениях  $P_0 = 0,5; 0,2; 0,15$  и 0,1 МПа вариация показаний измерительного прибора не превышает 0,5 мкм.

В закрытых гидростатических уровнях мод. 115 завода «Калибр» исходная плоскость реализуется поверхностью жидкости в нескольких сообщающихся сосудах. Уровень (рис. 3, б) содержит две или несколько измерительных головок 2, соединенных между собой резиновыми шлан-

гами 3 и оснащенных микрометрическими винтами 1. При измерениях головки устанавливают в проверяемых точках изделия, вращением микровинтов добиваются касания их острия поверхности жидкости и снимают показания со шкал микровинтов. Погрешность измерения гидростатическими уровнями не превышает  $\pm 0,01$  мм [19]. При измерении отклонений от прямолинейности или плоскостности с помощью индуктивного уровня мод. 129 завода «Калибр», уровня с ампулой или микроинвеляра (ГОСТ 9392-75, ГОСТ 3059-75, ГОСТ 2386-73) определяют углы наклона отдельных участков поверхности. Получен-

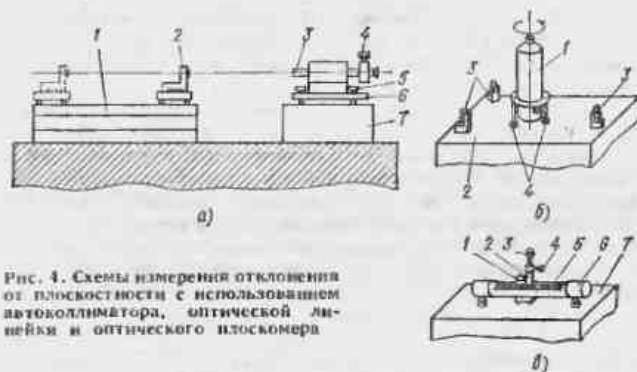


Рис. 4. Схемы измерения отклонения от плоскостности с использованием автоколлиматора, оптической линейки и оптического плоскомера

ные данные пересчитывают в линейные величины, а величину отклонения определяют относительно прилегающих прямых или плоскостей графически. Погрешности измерений составляют  $\pm 0,003-0,005$  мм [19].

Оптико-механические приборы, в которых в качестве исходной прямой используется луч света, по виду измеряемого параметра подразделяют на автоколлимационные и визирные (РС 5384-76). В автоколлимационных приборах относительно оптической оси зрительной трубы измеряют углы наклона отдельных участков поверхности изделия, затем полученные данные пересчитывают в величины отклонений от прямолинейности или плоскостности. В приборах, работающих по методу визирования, измеряют расстояние от исследуемой поверхности до оптической оси трубы. Автоколлиматоры (рис. 4, а) содержат следующие основные элементы: 3 — зрительную трубу; 4 — компенсатор; 6 — штатив; 5 — подъемный винт; 2 — зеркало в оправе, расположенное на изделии 1. Труба автоколлиматора закреплена на жестком массивном основании 7 рядом с изделием 1. Перед измерением устанавливают в начальной и конечной точках исследуемого профиля зрительную трубу и плоскость зеркала под углом  $90^\circ$ . Световое изображение марки автоколлиматора, отразившись от зеркала, будет при этом наблюдаться в окуляре автоколлиматора. При наклоне зеркала на угол  $\alpha$  в процессе перемещения его по изделию отраженный луч возвратится в автоколлиматор под углом  $2\alpha$  и вызовет смещение изображения наблюдаемой в объективе марки. Величину углового смещения зеркала определяют с помощью компенсатора. Для измерений в условиях лабораторного и прецизионного производства рекомендуется

применять автоколлиматоры типов АК-0,25; АК-0,5; АК-1; на рабочих местах — типов АК-5 и АК-30 (ГОСТ 11 899—77). Могут быть использованы также и другие типы автоколлиматоров: МГА, АФ-2, АКУ, АСУ (ТУ 3-3. 764—73; ТУ 3-3.144—75; ТУ 3-3.1270—75; ТУ 3-3.641—72). Погрешность измерения  $\Delta$  (в мкм) автоколлиматором выражается зависимостью

$$\Delta = \sqrt{A \cdot l \cdot L + 0,0002 \frac{H^2}{l}},$$

где  $A$  — коэффициент, зависящий от цены деления автоколлиматора (для цены деления  $2''$   $A = 4,0$ );  $l$  — шаг измерения, м;  $L$  — длина проверяемой поверхности, м;  $H$  — отклонение от прямолинейности, мкм.

При проверке поверхностей или удалении от них на величину более 10 м следует вводить температурную поправку, учитывающую искривление луча света [19]. К оптико-механическим приборам, работающим по методу визирования, относят зрительные трубы, оптические струны, оптические плоскомеры. Измерение отклонений от прямолинейности зрительными трубами и оптической струной также осуществляют с помощью марок, перемещаемых по изделию. Визирную ось трубы при этом устанавливают параллельно прямой или плоскости, проходящей через две (при измерении отклонений от прямолинейности) или три (при измерении отклонений от плоскостности) крайних точки исследуемой поверхности.

Марки оптической струны типа ДП-477М, ОС-3М (табл. 1) снабжены освещаемой точечной диафрагмой. Вертикальное смещение марки на объекте определяют по шкале оптического микрометра, установленного на зрительной трубе и совмещающего изображение марки и шкалы трубы. Конструкции зрительных труб типов ППС-11 и ППС-12, а также оптической струны ОС-3М позволяют производить измерение отклонений по методу автоколлимации. Визирная труба 1 оптических плоскомеров расположена в приборе типа ИС-41М (рис. 4, б) перпендикулярно исследуемой поверхности, в приборах типа ИС-42 (табл. 2) — горизонтально. Установка параллельности плоскости вращения опти-

1. Техническая характеристика оптических струн

Параметры	ДП-477 М		Параметры	ОС-3М	
	ДП-477 М	ОС-3М		ДП-477 М	ОС-3М
Диапазон измерения отклонений от прямолинейности, мм:			Цена деления отсчетного барабана, мм:		
по микрометру визирной трубы	±0,4	±0,4	микрометра визирной трубы	0,001	1
по микрометру марки	±5,0	±5,0	микрометра марки	0,01	1
Погрешность измерения, мм	±5L	±(1+2L)	Размеры проверяемых поверхностей, м	30	30

ческой оси и исследуемой поверхности 2 осуществляется с помощью трех визирных марок 3, располагаемых по периферии исследуемой поверхности, и трех опор 4, регулирующих положение визирной трубы прибора. Перемещая по изделию марку и наблюдая в окуляр положение ее светящейся точечной диафрагмы, с помощью оптического микрометра определяют величину отклонения от плоскостности.

При монтаже или изготовлении крупногабаритных изделий используют контрольно-юстировочные оптико-механические установки с лазерным излучателем (ОСТ 1.51 697—73÷1.51 726—73). Величину отклонения от прямолинейности в таких установках определяют с помощью позиционно-чувствительных целевых знаков. При использовании в качестве целевого знака фотоприемника, состоящего из четырех  $p$ - $n$ -переходов на единой полупроводниковой пластине, пороговая чувствительность по перемещению составляет сотые доли микрометра при радиусе пучка лазера 10 мм.

Оптические линейки типов ИС-43, ИС-36М (ТУ 3—3.963—74, ТУ 3—3.655—72) (рис. 4, в) состоят из двух основных частей: корпуса оптической линейки (цилиндра 6 с продольной прорезью 6 и оптической системой), служащего носителем прямой сравнения, и измерительной каретки 2 с источником света 1 и окуляром 3. С помощью каретки измеряют расстояние от прямой сравнения до контролируемой поверхности 7. Перед измерением каретку располагают с одной и другой стороны измеряемой детали, совмещая в поле зрения окуляра 3 каретки визирный штрих и биссектор, чем обеспечивают параллельность прямой сравнения и исследуемой поверхности. Затем производят измерение отклонений, совмещая в каждой точке измерения визирный штрих с биссектором и считывая показания со шкалы окулярного микрометра 4 каретки. При больших (более 600—800 мм) длинах исследуемых поверхностей измерения с помощью оптических линеек следует производить шаговым методом. Погрешности измерения могут возникать в результате неточности наведения биссектора на визирный штрих, нестабильности контакта измерительного наконец-

2. Техническая характеристика оптических плоскомеров

Параметры	Тип плоскомера		Параметры	Тип плоскомера	
	ИС-41М	ИС-42		ИС-41М	ИС-42
Погрешность измерения, с	±1,0	±0,8	марки	±5,0	±5,0
Предельные размеры проверяемых поверхностей, м	25×25	25×25	Цена деления отсчетного барабана микрометра, мм:	0,001	0,001
Пределы измеряемых отклонений по микрометру, мм:			визирной трубы марки	0,01	0,01
визирной трубы	±0,5	±0,5			

## 8. Техническая характеристика оптических линеек

Параметры	Тип линейки	
	ИС-36М	ИС-43
Пределы измеряемых отклонений профиля поверхности от прямолинейности и плоскостности, мм: по отсчетному устройству при регистрации	$\pm 0,4$ $\pm 0,1$	$\pm 0,20$ $\pm 0,05$
Пределы длин контролируемых поверхностей, мм	200—600	150—800
Общее увеличение прибора, крат	30	60
Цена деления отсчетного устройства, мм	0,001	0,0005
Пределы допускаемой погрешности прибора, мм ( $h$ — измеряемое отклонение в мм)	$\pm (0,001 + 0,01h)$	$\pm (0,0005 + 0,003h)$
Масштаб регистрации: вертикальный	500	1000
горизонтальный	1	1

линка с исследуемой поверхностью, непараллельности оптической оси и поверхности детали, расфокусировки объективов оптической системы.

Отклонения от плоскостности в условиях прецизионного производства измеряют оптическими приборами, принцип действия которых основан на явлении интерференции световых волн. Для контроля небольших деталей (концевых мер длины, калибров, измерительных плоскостей микроскопов и т.п.) применяют плоскопараллельные стеклянные пластины типа ПИ диаметром 60, 80, 100 и 120 мм (ГОСТ 2923—75) и типа ПМ диаметром 30, 40 и 50 мм (ГОСТ 1121—75). Отклонение от плоскостности оценивается по числу и форме интерференционных полос, наблюдаемых при наложении стекла на исследуемую поверхность. Погрешность измерения пробными стеклами составляет 0,015—0,03 мкм [7]. Для бесконтактного контроля поверхностей используют также интерферометры типов ИТ-40, ИТ-70, ИТ-100, ИКП-100 и ПК-452, позволяющие за один прием исследовать плоскости диаметром до 200, 70, 100 и 280 мм. Отклонение от плоскостности оценивается по интерференционной картине при наблюдении совмещенных изображений поверхностей исследуемой детали и образцовой стеклянной пластины, освещенных монохроматическим светом. Погрешность измерения интерферометрами 0,2—0,3 мкм [7]. Для контроля прямолинейности профиля плоских и цилиндрических поверхностей длиной до нескольких метров разработаны интерферометры моделей ИЗК-56 и ИЗК-40. Накладной интерферометр ИЗК-56 предназначен для контроля поверхностей по участкам длиной до 190 мм. Интерферометр ИЗК-40 комплектуется тремя сменными комплектами оптики, позволяющими контролировать изделия длиной 1, 2 и 5 м. Предельная погрешность измерения не превышает соответственно 1,5; 3 и 7 мкм [7].

При определении отклонений от круглости используют три способа измерений: 1) разностный, при котором определяется разность

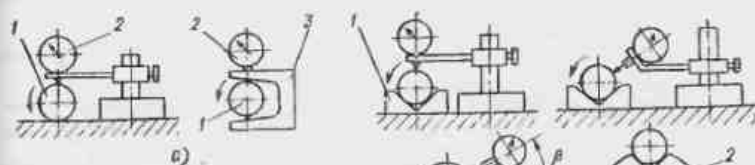


Рис. 5. Схемы измерения отклонений от круглости:

а — двухконтактными устройствами; 1 — изделие; 2 — измерительная головка; 3 — скоба; б — трехконтактными устройствами;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  — основные углы устройства; 1 — призма с постоянным углом раскрытия; 2 — призма с различными углами раскрытия

между последовательными значениями размеров исследуемого изделия с помощью двух- и трехконтактных приборов; 2) прецизионного вращения, при котором профиль сечения деталей сравнивается с траекторией точного кругового движения; 3) сравнение с образцовой поверхностью на основе явления интерференции.

Разностный способ реализуется в двух- и трехконтактных устройствах (рис. 5), в которых исследуемая деталь вращается оператором или специальным устройством между измерительными наконечником и опорными плоскостями или наконечниками. Двухконтактные приборы позволяют выявлять огранку с четным числом граней и овальность. К двухконтактным приборам относят также распространенные приборы, как оптиметры, длиномеры и т.д. Трехконтактные устройства представляют собой комбинацию призмы с заданным углом раскрытия и измерительной головки. Колебание показаний измерительного устройства при повороте изделия связано с величиной огранки и коэффициентом воспроизведения  $K$ , зависящим, в свою очередь, от числа

## 4. Параметры трехконтактных устройств для контроля огранки с различным числом граней

Число граней $n$	Половина центрального опорного угла $\alpha$	Угол призмы $\gamma = 180^\circ - 2\alpha$	Угол наклона измерительной головки $\beta$	Коэффициент воспроизведения огранки $K$	Число граней $n$	Половина центрального опорного угла $\alpha$	Угол призмы $\gamma = 180^\circ - 2\alpha$	Угол наклона измерительной головки $\beta$	Коэффициент воспроизведения огранки $K$
5	54	72	90	1	3; 5	45	90	90	2
7	38° 30'	103	90	1	7; 9	67° 30'	45	90	2,2
3; 9	30	120	90	1	3; 9	60	60	90	3
2; 3; 7; 8	36	108	90	1,4	3; 5; 7; 9	60	60	60	2,2
2; 6; 9	26	130	90	1,7	3; 5; 7; 9	30	120	30	2,2
5; 7	30	120	90	2	2	30	120	30	2,4

## 5. Техническая характеристика кругломеров

Параметры	Модель кругломера					
	218	246	255	267	BE-37	БВ-2003
Пределы измерения, мм:						
наружных диаметров	300	350	350	160	125	150
внутренних диаметров	300	—	350	160	125	150
высот деталей	360	1500	40	150	120	150
Погрешность прибора, мкм	0,1	0,2	0,05	0,12	0,2	0,2
Увеличение, крат:						
наименьшее	125	100	125	500	500	—
наибольшее	10 000	10 000	20 000	10 000	5000	—
Погрешность увеличения, %	4—8	—	3—6	±5	±6	—
Наибольшая масса измеряемой детали, кг	80	300	80	10	—	60

граней сечения детали и углов  $\alpha$  и  $\beta$  (табл. 4). Разработаны универсальные призмы, в которых либо меняется угол раскрытия, либо в одной конструкции объединено несколько призм с различными углами раскрытия (рис. 5, б).

Более точными и универсальными приборами для определения отклонений от круглости являются кругломеры, работающие по методу относительного прецизионного вращения измерительного наконечника и контролируемой поверхности с записью отклонений на диаграммном диске или ленте (ГОСТ 17 353—71) (табл. 5). Конструкции кругломеров подразделяют на два типа: а) с вращающимся измерительным наконечником 1 и неподвижной деталью 2 (рис. 6, а) и б) с неподвижным наконечником 1 вращающейся проверяемой деталью 2 (рис. 6, б). По принципу измерительных систем кругломеры могут быть электро-механическими, индуктивными или пневматическими. Перед измерением деталь центрируют относительно оси вращения. Сигналы измерительной головки, предварительно усиленные и записанные в полярных координатах, представляют собой круглограмму (профилограмму), сравнение которой с прилегающей окружностью позволяет оценить отклонение от круглости проверяемой детали. Прилегающая окружность может быть проведена с помощью циркуля или шаблона — прозрачной пластины с нанесенными на ней концентрическими окружностями. Шаблон накладывают на круглограмму и перемещают его до тех пор, пока одна из окружностей шаблона не займет положение прилегающей. Тогда наибольшее расстояние  $\Delta$  (рис. 6, в) от контура круглограммы до прилегающей окружности (штриховая линия) с учетом коэффициента усиления прибора будет характеризовать отклонение от круглости исследуемой детали. Для исследования причин возникновения погрешностей формы, а также для анализа характера отклонений формы в электрической схеме кругломеров предусмотрены частотные фильтры. Свойства фильтров характеризуются числом неров-

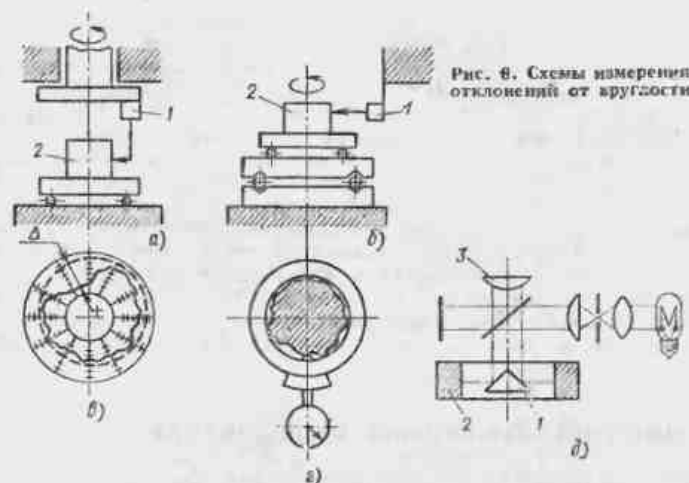


Рис. 6. Схемы измерения отклонений от круглости

ностей, пропускаемых фильтром за один оборот детали. При исследовании отклонений от круглости следует пользоваться низкочастотным фильтром, изучение волнистости и шероховатости проводят при подключении фильтра, пропускающего максимальное число неровностей на окружности.

Отклонение от круглости вала можно измерять в кольце (рис. 6, з), диаметр которого равен диаметру прилегающей окружности. Это условие выполняется с помощью набора колец разных диаметров. Вместо набора колец можно применять разжимное кольцо, а в недоступных местах (например, шейки коленчатого вала) — разрезное кольцо. Индикатор, установленный на кольцо, позволяет сравнивать профиль сечения вращаемой детали с траекторией точного кругового движения, задаваемой внутренней поверхностью кольца.

Сравнительные измерения отклонений от круглости отверстий в различных сечениях от 5 до 12 мм могут быть осуществлены с помощью интерференционного нутромера типа ИГ-88 (рис. 6, д). Образцовой поверхностью нутромера является поверхность доведенного конуса 1, расположенного внутри проверяемого кольца 2. Величину отклонения определяют по интерференционной картине, возникающей в поле зрения окуляра 3 при взаимодействии пучков света, отразившихся от исследуемой и образцовой поверхностей. Точность измерения достигает 0,03—0,05 мкм [19].

Измерение отклонения от цилиндричности при отсутствии отгранки с нечетным числом граней и отклонений от прямолинейности оси может быть осуществлено двухконтактным измерительным устройством, выполненным в виде «плавающей» скобы с измерительной головкой (см. рис. 5, б). Деталь при измерении вращается, а скоба перемещается в продольном направлении. Отсчет показаний производят не менее чем в шести точках: в трех сечениях вдоль оси (по краям и в середине) в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Погрешность серийно выпускаемых устройств такого типа (5ГПМ и 6ГПМ) для измерения отклонений от цилиндричности валов диаметром от 300 до 1500 мм

составляет не более  $0,012 \text{ мм} + 2\%$  от контролируемой величины (ТУ 2-034-299—71). При наличии грани с нечетным числом граней или отклонений от прямолинейности оси для определения отклонения от цилиндричности их измеряют отдельно и суммируют с полуразностью наибольшего и наименьшего диаметров.

Измерение отклонения профиля продольного сечения состоит в том, что с одной установки детали записывают профилограммы двух образующих, принадлежащих одному продольному сечению. Затем на диаграмме строят прилегающий профиль и от него отсчитывают наибольшее отклонение точек профилограмм образующих. Приближенное отклонение профиля продольного сечения можно определить как полуразность наибольшего и наименьшего диаметров сечения, измеренных двухконтактным прибором (например, скобой с измерительной головкой). Если сечение имеет отклонение от прямолинейности оси, то последнее необходимо измерять отдельно и суммировать с полуразностью диаметров.

## 2. ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ РАСПОЛОЖЕНИЯ

Отклонения расположения (отклонения от параллельности, перпендикулярности, наклона и т. д.) определяют исходя из расположения прилегающих прямых или плоскостей. В качестве последних используют плоскости поверочных плит, на которых устанавливаются детали, и плоскости поверочных линеек, угольников и специальных оправок, устанавливаемых на деталях.

За величину отклонения от параллельности принимают разность показаний измерительной головки (рис. 7, а, б), устанавливаемой в различных точках исследуемой поверхности. Для контроля крупногабаритных деталей может быть рекомендован способ графического построения профилограммы по результатам замеров с помощью оптико-механических приборов с последующим построением прилегающей прямой или плоскости и графическим определением величины отклонения. При измерении отклонений от параллельности или перекоса осей следует иметь в виду, что сама ось нематериальна. Поэтому измерения проводят относительно образующей реальной поверхности; либо самой детали — вала (рис. 7, в, г), либо специально изготовленной оправки, пригнанной к контролируемому отверстию (рис. 7, д).

Отклонение от перпендикулярности поверхностей изделия рассматривается как отклонение от прямого угла в расположении прилегающих поверхностей. Номинальное угловое расположение поверхностей, а также осей задается плоскостями поверочных плит и угольников (ГОСТ 3749—77) (рис. 7, е, ж) или устройствами с элементами, между которыми точно выдержан прямой угол (рис. 7, з).

Измерение отклонений наклона плоскостей или осей относительно плоскости или оси для деталей с любыми номинальными значениями угла наклона может осуществляться с помощью приспособлений, включающих в себя угломерное устройство (угломер оптический по ГОСТ 11197—73, квадрант механический по ГОСТ 10908—75 и т. д.) и измерительную головку. С помощью угломерного устройства задается номинальное расположение поверхностей или осей (номинальный угол наклона), отклонение от номинального расположения (угла) на нормируемой длине фиксируется измерительной головкой.

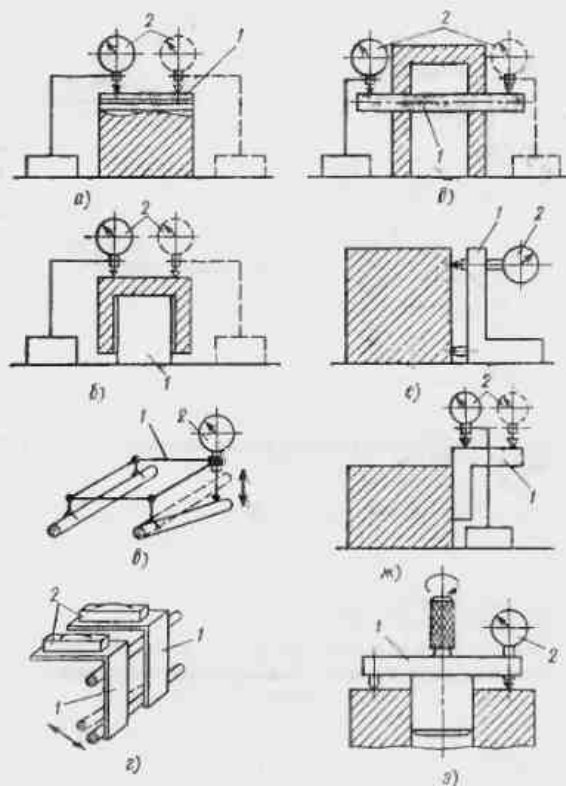


Рис. 7. Схемы измерения отклонений расположения от параллельности:

а: 1 — измерительная линейка; 2 — измерительная головка; б: 1 — опора с параллельными торцовыми поверхностями; 2 — измерительная головка; в: 1 — рамка; 2 — измерительная головка; г: 1 — угольники; 2 — уровни; д: 1 — оправка; 2 — измерительная головка; е, ж: 1 — угольник; 2 — индикатор; з: 1 — цилиндрическая оправка; 2 — измерительная головка.

Измерение отклонений от соосности относительно осей базовой поверхности может быть осуществлено посредством измерительной головки (рис. 8, а), закрепляемой на оправке 2 и вставленной в одно из отверстий (РС 5390—76). Измерительный наконечник контактирует с поверхностью оправки 3, расположенной в другом отверстии. Величина отклонения от соосности в данном случае равна половине разности отсчета по шкале индикатора при полном его обороте вокруг оси. Измерение отклонения от соосности шеек вала относительно общей оси осуществляют в крайних сечениях детали 1 с помощью двух измерительных головок 2, при этом обе контролируемые поверхности одновременно



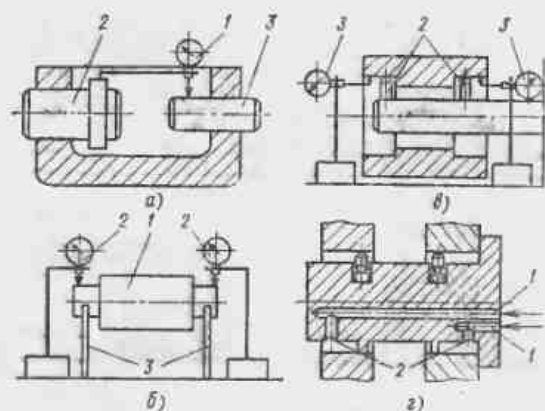


Рис. 8. Схемы измерения отклонения от соосности

базируются двумя поперечными призматическими опорами 3, установленными на поверочной плите (рис. 8, б). Величина отклонения от соосности будет равна половине разности отсчета по шкале индикатора при полном обороте вала вокруг оси. Для измерения отклонений от соосности относительно общей оси двух отверстий используют удлиненную оправку 1 со сферическими опорами 2 (рис. 8, в). Наконечник индикатора 3 должен касаться поверхности отверстия по той же образующей, что и сферическая опора оправки, а направление действия измерительного усилия должно быть перпендикулярно поверочной плите и направлено по радиусу отверстия.

Для аналогичных измерений используют также конструкцию оправки, снабженную каналами для подачи воздуха 1 и измерительными соплами 2 (рис. 8, г). Измерение отклонения от соосности вертикально расположенных осей отверстий, удаленных друг от друга на расстояние до нескольких метров, производят с помощью натянутой струны. В верхнем отверстии струна крепится в оправке с центральным отверстием. Положение струны в нижнем отверстии определяют с помощью микрометрических нутромеров (ГОСТ 10—75) или электроконтактного приспособления, снабженного микровинтом. Момент касания наконечника микровинта к струне определяется по замыканию электрической цепи. При длине струны 500 мм, массе отвеса 150 г смещение струны от необходимого контактного усилия составляет 10—12 мкм. Вариация показаний шкалы микровинта при длине струны 300 мм составляет  $\pm 10$  мкм, при длине 5000 мм  $\pm 50$  мкм. При измерении отклонений от соосности с помощью автоколлиматора в отверстиях устанавливают специальные марки, а зрительные трубы устанавливают так, чтобы линия визирования проходила через центры сечений исследуемых отверстий.

При измерении отклонения от симметричности по схеме, изображенной на рис. 9, а, б, в, необходимо с помощью индикатора произвести два замера с поворотом детали 1 в центрах 2 на  $180^\circ$ . Величина отклонения равна половине разности показаний индикатора 3. Схема

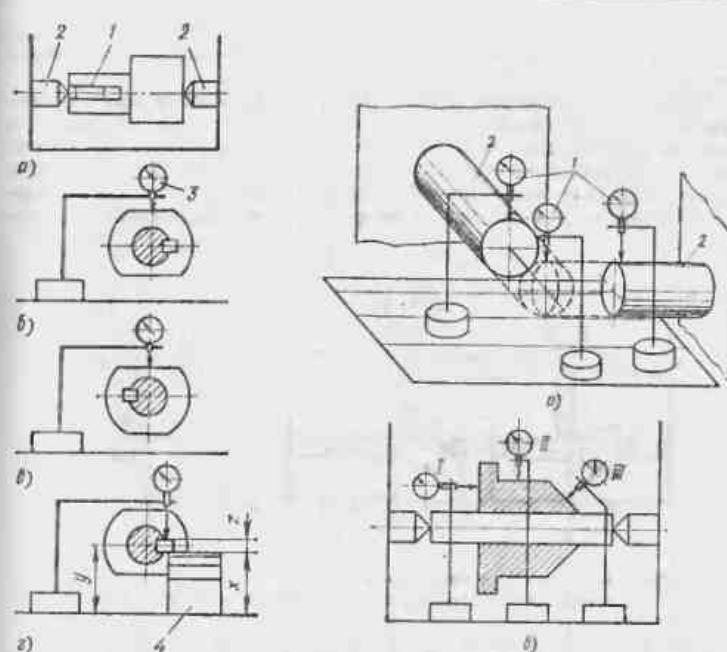


Рис. 9. Схемы измерения симметричности шпоночного паза

Рис. 10. Схемы измерений:

а — отклонений от пересечения осей; б — радиального биения II; торцового биения I и биения в заданном направлении III

измерения отклонений от симметричности шпоночного паза с помощью индикатора и наборов плоскопараллельных концевых мер длины 4 представлена на рис. 9, г. Перед измерением составляется блок концевых мер на размер  $x = y - z/2$ , где  $z$  — действительный размер вкладыша. Затем устанавливается нуль по шкале индикатора при установке его на размер  $x_1 = y + z/2$ . При поджиме вкладыша к блоку концевых мер с размером  $x$  и установке индикатора на измерительную позицию по шкале последнего можно определить величину отклонения от соосности. Для проверки симметричности шпоночных пазов шириной 2—70 мм у валов диаметром 8—300 мм выпускается устройство типа ШП (ТУ 2-034-640—69). Погрешность измерений  $\pm 0,05$  мм.

Измерение отклонений от пересечения осей валов осуществляют с помощью индикаторов 1 по положениям образующих валов 2 с учетом их действительного размера, для отверстий — по положениям образующих оправок 2 подогнанных к исследуемым отверстиям (рис. 10, д).

При измерении радиального и полного радиального биений, торцового и полного торцового биений и биения в заданном направлении детали базируют с помощью оправок, патронов, призм или центров.

Величина биения определяется как разность наибольших и наименьших показаний измерительной головки при повороте детали на один оборот (рис. 10, б).

Измерение отклонений формы заданного профиля и заданной поверхности осуществляют универсально-координатными методами и методами сравнения с образцом. Первые характеризуются численной оценкой расположения точек исследуемого профиля и поверхности относительно друг друга, а также заданных баз с помощью координатно-измерительных машин, универсально-перенастраиваемых стен-

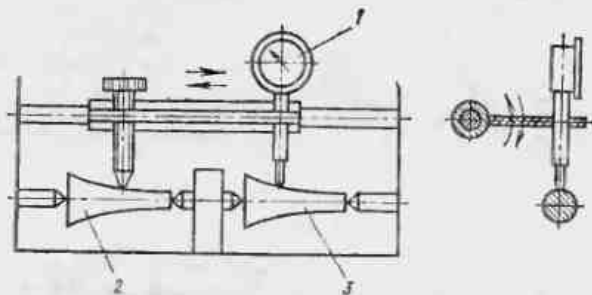


Рис. 11. Копирующее устройство:

1 — измерительная головка; 2 — образец; 3 — исследуемая деталь

дов [19], универсально-измерительных микроскопов типа УИМ, ширинных труб с марками, устанавливаемыми на исследуемом изделии. При методах сравнения с образцом сравнивают расположение аналогичных точек профиля или поверхности исследуемой детали и контрольной детали, шаблона или копира. Наиболее широко применяют копирующие устройства с измерительными головками (рис. 11). Для контроля плоских профилей используют проекторы (ПМГ-1, БП, часовые проекторы ЧП). При этом производится сравнение профиля чертежа, установленного на экране, и профиля проектируемой на экран детали. Масштаб выполнения чертежа должен соответствовать масштабу увеличения прибора.

### 3. КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ

Методы контроля толщины покрытий делят на неразрушающие (магнитный, электромагнитный, радиационный, гравиметрический и оптический) и разрушающие (гравиметрический, металлографический, кулонометрический, метод струи и метод капли) по ГОСТ 9.302—79 (СТ СЭВ 990—78). Оптические методы контроля используют в тех случаях, когда на исследуемом изделии имеются зоны как с покрытием, так и без него. В этом случае для измерения высоты ступеньки (толщины покрытия) используют такие же измерительные средства и приемы, как при измерении отклонений от плоскостности, а также величины шероховатости. Косвенные методы контроля реализуются в разнообразных магнитных, электромагнитных и радиоизотопных тех-

#### 6. Технические характеристики толщиномеров

Толщиномер	Принцип действия	Материал		Пределная допускаемая погрешность, % (±)	Диапазон измеряемых толщин, мм	Тип толщиномер
		покрытие	подложка			
Магнитный отрывной	Зависимость силы отрыва магнита (сила тока — для электромагнита) от толщины пленки	Никель	Сталь	4	1—50	МТА-1
		Никель	НФ	10	1—25	В-27
Электромагнитный отрывной	Зависимость силы отрыва магнита (сила тока — для электромагнита) от толщины пленки	НФ	Ф	10	2—600	МТ-2
		НФ	Ф	1	3—150	2П-38
		НФ	Ф	10	0,1—90	ТПО-1
		НФ	Ф	10	1—200	ИТП-300
Индуктивный	Зависимость вductивного сопротивления катушки преобразователя от толщины пленки	НФ	Ф	10	0—3000	МТ-10Н
		НФ	Ф	5	1—10000	МТ-31Н
		НФ	Ф	10	1—30	ТПО
		НФ	Ф	10	10—1300	ВЧ-10Т
Индукционный	Зависимость взаимной индукции в обмотках преобразователя от толщины пленки	НФ	Ф	10	1—500	ЭТ-3
		НФ	Ф	10	3—60	ЭТУ-2
		НФ	Ф	10		
		НФ	Ф	10		

Продолжение табл. 6

Толщина	Толщина	Принцип действия	Материал		Пределная допускаемая погрешность, % ( $\pm$ )	Диапазон измеряемых толщин, мм	Тип толщиномеров					
			покрытие	подложки								
Токовывод	Зависимость величины вихревых токов, возбужденных в исследуемом материале переменным магнитным полем катушки индуктивности измерительного преобразователя, от толщины пленки	Золото М НМ М НЭП Никель М НЭП НЭП НФ НФ НФ НЭП	ПП Ф М М М Латунь Стекло НФМ НФМ ЭП НФМ Сталь НФМ	1-8 1-30 10-500 1-100 2-500 0,5-30 6-300 7 500-20 000 2 200-8 000 2-25 3-800 0,5-50 450-2 400	ВТМС-11 ТПО-В ТПО-В ТМ-57 ТМ-2 ИТП-У ТЦП-2 ВТ-20Н ВТ-21Н ПИТ-1 ИИК-62 КТП-1А ВТ-22Н							
							Рядовой	Зависимость катодности обратного рассеяния электронов и излучений от толщины пленки, обусловленной магнитным бета-излучением	Олово Серебро Медь Маяний Серебро Платина	Сталь Капрд Гетинакс Сталь Медь Титан	0,1-5 10-100 10-100 10-100 5-50 0,1-10	ИТП-47М РТ-1 РТ-2 РТ-3 РТ-4 Бета-микрометр

Условные обозначения: ПП — полупроводник; Ф — ферромагнитный материал; НФ — ферромагнитный материал; М — металл; НМ — немагнитный; ЭП — электропроводный; НЭП — неэлектропроводный.

цифрах, работа которых основана на связи толщины покрытий (пленки) и известных физических закономерностей (табл. 6). Косвенный контроль толщины оптически прозрачных покрытий может быть осуществлен также по цвету пленки при наблюдении ее в отраженном или проходящем свете. В зависимости от условий наблюдения и характеристик покрытия его цвет может меняться от белого до черного [19]. Косвенным неразрушающим методом контроля является гравиметрический метод, основанный на взвешивании детали до и после нанесения покрытия и определении толщины пленки исходя из площади поверхности и плотности покрытия. К разрушающим методам контроля толщины покрытий относят: 1) металлографический, при котором толщину покрытия определяют с помощью измерительных микроскопов на поперечных срезах-шлифах; 2) метод хорды, состоящий в том, что мелкозернистым шлифовальным кругом с известным радиусом производят зачистку (надрез) покрытия до появления подложки и затем, измерив ширину среза, вычисляют толщину покрытия; 3) струйный и капельный методы состоящие в определении времени или объема раствора, необходимого для растворения исследуемого покрытия и покрытия известной толщины; 4) кулонометрический метод, основанный на определении времени при анодном растворении участка покрытия под действием стабилизированного тока в соответствующем электролите.

## КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Контроль шероховатости поверхности можно производить качественным и количественным методами. Качественный контроль осуществляется с помощью образцов шероховатости поверхности (сравнения) или с помощью образцовых деталей. Количественный контроль реализуется с помощью приборов для измерения параметров шероховатости поверхности.

### 1. ОБРАЗЦЫ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ (СРАВНЕНИЯ)

Контроль шероховатости поверхности с помощью образцов осуществляется путем визуального сравнения или на ощупь. Технические требования к образцам шероховатости поверхности установлены ГОСТ 9378—75. Стандарт распространяется на образцы шероховатости, полученные методом механической обработки, снятием позитивных отпечатков гальванопластикой или нанесением покрытий на пластмассовые отпечатки. Стандарт не распространяется на образцовые детали шероховатости поверхности.

Образцы сравнения имеют прямолинейное, дугообразное или переkreщающееся дугообразное направление неровностей и предназначены для контроля шероховатости поверхностей, обработанных точением, расточкой, цилиндрическим фрезерованием, строганием, торцовым точением, фрезерованием, шлифованием, шлифованием периферийной круга и чашеобразным кругом. Поверхности сравнения (рабочие) образцов имеют цилиндрическую выпуклую, цилиндрическую вогнутую или плоскую форму. Длина поверхности сравнения не менее 30 мм и ширина не менее 20 мм.

Образцы шероховатости поверхности должны изготавливать для значений параметров  $Ra$  шероховатости поверхности, указанных в табл. 1.

Допущенные к применению образцы шероховатости поверхности должны иметь одинаковый цвет и блеск по всей рабочей поверхности и быть размагничены. Размагниченные образцы не должны притягивать детали из малолегированной стали массой более 0,1 г.

Образцы шероховатости комплектуются наборами по видам обработки и материалам, из которых они изготовлены. Применяют также отдельные образцы.

Значения параметров шероховатости образцов, входящих в набор, виды обработки образцов и материалы указываются в паспорте, прилагаемом к набору. На каждый образец наносится значение параметра

1. Численные значения параметров  $Ra$  образцов шероховатости поверхности

Вид обработки	Параметр шероховатости $Ra$ , мкм	Базовая длина $l$ , мм	Вид обработки	Параметр шероховатости $Ra$ , мкм	Базовая длина $l$ , мм
Шлифование	0,025	0,250	Фрезерование	0,400	0,800
	0,050	0,250		0,800	0,800
	0,100	0,250		1,600	2,500
	0,200	0,250		3,200	2,500
	0,400	0,600		6,300	8,000
	0,800	0,600		12,500	8,000
	1,600	0,800			
3,200	2,500				
Точение и расточка	0,400	0,800	Строгание	0,800	0,800
	0,800	0,800		1,600	0,800
	1,600	0,800		3,200	2,500
	3,200	2,500		6,500	2,500
	6,300	2,500		12,500	8,000
	12,500	2,500		25,000	8,000

шероховатости  $Ra$  в микрометрах и указывается вид обработки образца. По требованию заказчика вместе с параметром  $Ra$  наносится действительное значение параметра  $Rz$  как справочное.

При сравнении поверхностей детали и образца невооруженным глазом удовлетворительная точность оценки шероховатости поверхности контролируемой детали обычно достигается при  $Ra = 0,6 \div 0,8$  мкм и более. Для повышения точности оценки применяют лупы и микроскопы сравнения, например компараторный микроскоп сравнения МС-48, который позволяет одновременно наблюдать контролируемую поверхность и поверхность образца. Наблюдение производится при одинаковом увеличении (до  $80\times$ ) и одинаковой освещенности детали и образца. Применение оптических приборов при сравнении дает возможность расширить область применения образцов шероховатости поверхности.

### 2. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Все параметры шероховатости поверхности, установленные СТ СЭВ 638—77, могут быть измерены приборами, выпускаемыми отечественной промышленностью. Для измерения параметров шероховатости поверхности можно также применять приборы зарубежных фирм.

В настоящее время для измерения параметров шероховатости поверхности наибольшее распространение получили контактные (щуповые) приборы последовательного преобразования профиля (профилографы, профилометры и профилографы-профилометры) и бесконтактные оптические приборы одновременного преобразования профиля (микронтерферометры, приборы светового сечения и растровые измерительные микроскопы).

## 2. Характеристики основных приборов для измерения параметров шероховатости поверхности

Тип прибора	Параметры	Пределы измерения	Базовые длины, мм	Изготовитель	
Профилограф-профилометр мод. 201	Профилометр	$R_a$	8,0—0,02 мкм	0,08; 0,25; 0,8; 2,5	Завод «Калибр»
	Профилограф	$R_a$ $R_z$ $R_{max}$ $S, S_m$ $t_p$	20,0—0,008 * мкм 100—0,025 мкм 12,5—0,003 мкм 90—10%	Весь ряд	
Профилометр мод. 253	$R_a$	2,5—0,04 мкм	0,25; 0,8; 2,5	Завод «Калибр»	
Профилометр мод. 283	$R_a$	10—0,02 мкм	0,25; 0,8	Завод «Калибр»	
Профилограф-профилометр мод. 252 (с цифровым отсчетом)	Профилометр	$R_a$ $R_{max}$ $S_m$ $t_p$	100—0,02 мкм 200—0,1 мкм 12,5—0,003 мкм 100—0%	2,5; 0,8; 0,25; 0,08	Завод «Калибр»
	Профилограф	$R_z$ $R_{max}$ $R_a$ $S, S_m$ $t_p$	250—0,02 мкм 60—0,05 мкм 12,5—0,003 мкм 100—0%	Весь ряд	
Приборы светового сечения МНС-11 и ПСС-2	МНС-11 **	$R_z$ $R_{max}$	80—0,8 мкм	0,8; 0,25	ЛОМО
	ПСС-2	$R_z$ $R_{max}$ $S, S_m$	40—0,8 мкм 2,5—0,002 мкм	2,5; 0,8; 0,25; 0,08; 0,03; 0,01	
ОРИМ-1 ***	$R_z$ $R_{max}$ $S, S_m$	40—0,4 мкм 2,5—0,002 мкм	2,5; 0,8; 0,25; 0,08; 0,03; 0,01	ЛОМО	
ПТС-1 ***	$R_z$ $R_{max}$ $S, S_m$	320—40 мкм 6,3—0,02 мкм	8; 2,5; 0,8; 0,25	ЛОМО	

Продолжение табл. 2

Тип прибора	Параметры	Пределы измерения	Базовые длины, мм	Изготовитель
ПТС-4М ***	$R_z$ $R_{max}$ $S, S_m$	1600—63 мкм 6,3—0,1 мм	8; 2,5; 0,8; 0,25	—
Микроинтерферометр МИИ-4 ***	$R_z$ $R_{max}$ $S, S_m$	0,8—0,1 мкм 0,25—0,02 мкм	0,25; 0,08; 0,03; 0,01	ЛОМО

\* Значения параметра приведены ориентировочно и зависят от конкретной поверхности.  
\*\* Промышленностью не выпускаются.  
\*\*\* Возможно измерение параметров  $R_a$  и  $t_p$ , но очень трудно.

В соответствии со СТ СЭВ 638—77 измерение всех параметров шероховатости поверхности должно производиться в системе средней линии профиля — системе М.

Характеристики основных приборов для измерения параметров шероховатости, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 2.

**Контактные приборы последовательного преобразования профиля.** Эти приборы являются самыми совершенными приборами для измерения шероховатости поверхности, позволяющими измерять все параметры шероховатости поверхности, регламентированные СТ СЭВ 638—77 и национальными стандартами. Кроме того, с помощью этих приборов наиболее просто измерять предпочтительный параметр шероховатости поверхности, установленный СТ СЭВ 638—77, — параметр  $R_a$ .

Контактные приборы последовательного преобразования профиля подразделяют на профилографы, профилометры и профилографы-профилометры.

**Профилограф** — прибор для регистрации координат профиля измеряемой поверхности (профилограммы поверхности).

**Профилометр** контактной системы М — контактный щуповой прибор для определения числовых значений параметров шероховатости поверхности в системе М.

**Профилограф-профилометр** — прибор для регистрации координат профиля измеряемой поверхности и определения числовых значений параметров шероховатости поверхности.

Типы и основные параметры профилографов установлены ГОСТ 19299—73. Согласно этому стандарту установлены два типа профилографов: профилографы типа А — профилографы для регистрации координат номинально-прямолинейных профилей; профилографы типа Б — профилографы, предназначенные для регистрации координат профилей номинально-непрямолинейных поверхностей или регистрации профилей относительно вспомогательной направляющей плоскости.

В зависимости от точностных характеристик профилографы каждого типа делят на две группы: группа 1 — для исследовательских

работ и лабораторных измерений повышенной точности; группа II — для измерений в процессе послеоперационного контроля (цеховые профилографы).

Типы и основные параметры профилометров стандартизованы ГОСТ 19300—73. В соответствии с этим стандартом установлены два типа профилометров: профилометры типа А — профилометры, предназначенные для измерения параметров шероховатости поверхности с номинально прямолинейным профилем; профилометры типа Б —

профилометры, предназначенные для измерения шероховатости поверхности одной или нескольких номинально непрямолинейных поверхностей или для измерения относительно вспомогательной плоской направляющей поверхности.

В зависимости от точностных характеристик профилометры каждого типа делят на две группы: группа I — для исследовательских работ и лабораторных измерений повышенной точности; группа II — для измерений в процессе послеоперационного контроля (цеховые профилометры).

В профилографах и профилометрах применяют щупы (алмазные иглы) с радиусами кривизны при вершине:  $2^{+2}$ ,  $5 \pm 1$  и  $10 \pm 2,5$  мкм. Номинальное значение угла рабочей части щупа равно  $1,57 \pm 0,09$  рад.

Максимальные значения статического измерительного усилия и постоянного изменения измерительного усилия профилографов и профилометров приведены в табл. 3.

Одними из основных характеристик профилографов являются увеличения, с которыми регистрируются координаты измеренного профиля. Вертикальное увеличение  $V_v$  — масштаб преобразования координат профиля профилографов в направлении перемещения щупа, нормальном к номинальному профилю поверхности. Горизонтальное увеличение  $V_h$  — масштаб преобразования координат профиля профилографов в направлении перемещения щупа вдоль номинального профиля поверхности.

Диапазон значений вертикальных увеличений профилографов обычно составляет от 100 до 200 000, а горизонтальных увеличений от 10 до 10 000. При регистрации профилей вертикальное увеличение обычно значительно больше горизонтального, поэтому профилограммы сжимаются в горизонтальном направлении и форма профилограмм значительно отличается от формы профилей действительных поверхностей.

В зависимости от числовых значений параметров нормируемых метрологических характеристик установлены три степени точности профилографов и профилометров, обозначаемые в порядке убывания точности цифрами 1, 2 и 3.

3. Максимальные значения измерительных усилий профилографов и профилометров

Максимальные значения	Номинальные значения радиуса кривизны вершины щупа, мкм		
	2	5	10
Статического измерительного усилия, Н	0,0007	0,004	0,016
Постоянной изменения измерительного усилия, Н/м	35	200	800

Профилограф-профилометр мод. 252 завода «Калибр». Этот профилограф-профилометр соответствует ГОСТ 19299—73 и ГОСТ 19300—73.

Он представляет собой контактный прибор последовательного преобразования профиля тяга А1. Прибор предназначен для измерения в лабораторных условиях шероховатости и волнистости поверхности изделий из металла и неметаллических материалов, сечение которых в плоскости измерения представляет собой прямую линию. Прибор состоит из стойки с моторприводом, универсального предметного столика, блока управления, счетно-решающего блока, дифференциального индуктивного измерительного преобразователя с алмазной ошупывающей иглой и записывающего устройства.

Структурная схема прибора показана на рис. 1. Принцип действия прибора основан на ошупывании исследуемой поверхности алмазной иглой с радиусом кривизны при вершине 10 мкм и преобразовании с помощью дифференциального индуктивного преобразователя механических колебаний иглы в пропорциональные изменения электрического напряжения. Алмазная ошупывающая игла 1 закреплена на якоре 9 дифференциального индуктивного преобразователя. В процессе измерения индуктивный преобразователь с помощью моторпривода перемещается относительно поверхности измеряемой детали, которая устанавливается на предметном столике. При перемещении преобразователя ошупывающая игла и якорь колеблются на опоре 8 относительно двоянного Ш-образного сердечника 4, на котором закреплены две индуктивные катушки 3 дифференциального преобразователя. Катушки включены в мостовую измерительную схему, которая питается от стабилизированного генератора 2 синусоидальным напряжением с частотой 10 кГц. При колебаниях якоря изменяются воздушные зазоры между сердечником и якорем, индуктивности катушек и соответственно изменяется выходное напряжение мостовой измерительной схемы. Выходные сигналы мостовой измерительной схемы, амплитуда которых пропорциональна высоте микронеровностей измеряемой поверхности, а частота соответствует шагу микронеровностей, поступают на блок управления 5, счетно-решающий блок 6 и записывающее устройство 7. Числовые значения измеренных параметров шероховатости поверхности определяются с помощью пятиразрядного цифрового отсчетного устройства. Записывающее устройство используется для регистрации профилограммы измеренного профиля поверхности.

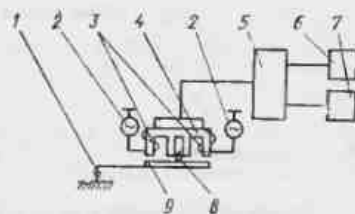


Рис. 1. Структурная схема профилографа-профилометра мод. 252

Параметры шероховатости поверхности, определяемые по отсчетному устройству профилографа-профилометра мод. 252:  $Ra$  — среднее арифметическое отклонение профиля;  $H_{max}$  — высота наибольшего выступа профиля;  $H_{min}$  — глубина наибольшей впадины профиля;  $l_p$  — относительная опорная длина профиля;  $n$  — число шагов неровностей в пределах длины трассы ошупывания (по базовой длине).

## Техническая характеристика профилографа-профилометра мод. 202

Пределы измерения параметров:	
профилографа $R_z$ , мкм	0,02—250
профилометра:	
$R_a$ , мкм	0,02—100
$R_{max}$ , $R_{min}$ , мкм	0,1—100
$f_r$ , %	0—100
$n$	До 1000
Уровни сечения профиля при измерении $f_r$ , %	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90
Вертикальное увеличение	От 200 до 100 000 (9 ступеней)
Горизонтальное увеличение	От 0,5 до 2000 (12 ступеней)
Максимальная длина трассы оцупывания для профилографа, мм	50
Длина трассы оцупывания для профилометра, мм	1,5; 3; 6
Значения отсечек шага, мм	0,08; 0,25; 0,8; 2,5
Вид отсчетного устройства	Цифровое
Наименьший диаметр измеряемого отверстия или паза на глубине до 5 мм, мм	3
Потребляемая мощность, Вт, не более	100
Масса прибора, кг	107,6

Профилограф-профилометр мод. 201 завода «Калибр» также относится к приборам типа А1. Прибор предназначен для измерения неровностей поверхностей с номинально-прямолинейным профилем.

Профилограф-профилометр мод. 202 завода «Калибр» относится к приборам типа Б1 и позволяет измерять параметры шероховатости поверхностей с прямолинейным и с непрямолинейным профилями. Прибор снабжен приспособлениями для измерения шероховатости поверхностей с радиусом закругления от 4 до 80 мм и шероховатости поверхностей шариков и роликов диаметром от 1 до 25 мм. Прибор позволяет также измерять шероховатость эвольвентных поверхностей в зубчатых колесах с модулем от 3 мм.

Принцип действия профилографов-профилометров мод. 201 и мод. 202 также основан на оцупывании исследуемой поверхности алмазной иглой с радиусом кривизны при вершине 10 мкм и преобразовании с помощью дифференциального индуктивного преобразователя механических колебаний иглы в пропорциональные изменения электрического напряжения.

**Профилометр мод. 253** завода «Калибр». Профилометр представляет собой контактный прибор последовательного преобразования профиля типа А11, предназначенный для измерения в цеховых условиях параметров шероховатости поверхности металлических и неметаллических (пластмасса, стекло и т. п.) изделий.

Принцип действия профилометра основан на оцупывании исследуемой поверхности алмазной иглой с радиусом кривизны при вершине 10 мкм и преобразовании с помощью механотронного преобразователя механических колебаний иглы в пропорциональные изменения электрического напряжения.

Конструкция механотронного преобразователя показана на рис. 2. Алмазная игла 13 закреплена на конце шупа 12, который через тонкую мембрану связан с подвижным анодом механотронного преобразователя 11. При перемещении подвижного анода соответственно изменяется выходной электрический сигнал механотронного преобразователя. Механотрон вставлен в корпус 1, в передней части которого

расположена твердосплавная опора 14. Крепление механотрона в корпусе осуществляется с помощью кольца 4 со штырем 3, который упирается в лунку винта 2 под усилием пружины 7. Такая конструкция крепления позволяет регулировать положение механотрона и осуществлять точную установку алмазной оцупывающей иглы относительно твердосплавной опоры. Положение шупа регулируется и фиксируется винтами 6, которые упираются в кольцо 5. Преобразователь соединяется со штоком привода вилкой разьема 9 и фиксируется штифтом 8. Снизу механотрон закрыт крышкой 10.

Перемещение механотронного преобразователя с постоянной скоростью осуществляется с помощью привода. Выходные сигналы с ме-

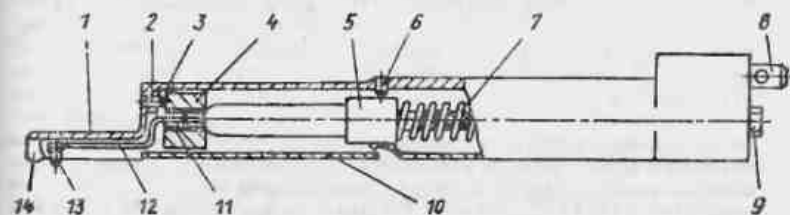


Рис. 2. Механотронный преобразователь профилометра мод. 253

ханотронного преобразователя подаются на электронный блок с электронным усилителем, электрическими фильтрами и стрелочным показывающим прибором, который используется в качестве интегрирующего устройства и для отсчета результатов измерения шероховатости поверхности. Шкала показывающего прибора градуирована в значениях параметра  $R_a$  (СТ СЭВ 638—77).

## Техническая характеристика профилометра мод. 253

Пределы измерения параметра $R_a$ , мкм	0,02—3,2
Скорость трассирования преобразователя, мм/с	0,62
Измерительное усилие оцупывающей иглы, сН	Не более 1
Радиус кривизны оцупывающей иглы, мкм	10
Наименьший диаметр просверяемого отверстия, мм, на глубине:	
до 20 мм	6
> 130 мм	10
Погрешность показаний, %	16
Масса прибора, кг	12

**Профилометр мод. 283** завода «Калибр». Профилометр относится к контактным приборам последовательного преобразования профиля типа А11 по ГОСТ 19300—73 и предназначен для измерения в цеховых условиях шероховатости наружных и внутренних поверхностей деталей с твердостью не менее  $HB 10$  и прямолинейным сечением в плоскости измерения.

Принцип действия прибора основан на оцупывании измеряемой поверхности алмазной иглой с радиусом кривизны при вершине 10 мкм и преобразовании с помощью механотронного преобразователя механических колебаний иглы в пропорциональные изменения электрического напряжения.

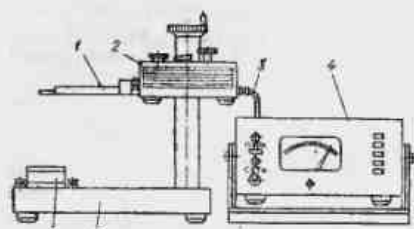


Рис. 3. Общий вид профилометра мод. 283

Общий вид профилометра мод. 283 показан на рис. 3. Механотронный преобразователь 1 с алмазной ощупывающей иглой (в преобразователе применен механотрон 6МХ1Б) закреплен в гнезде штока привода 2. Привод установлен на вертикальной колонке стойки 5, на которой устанавливается измеряемая деталь. Выходные электрические сигналы с механотронного преобразователя по шлангу 3 поступают на электронный блок 4. В профилометре применен электронный блок с унифицированной электронной системой, построенной на основе полупроводниковых элементов. Шланг 3 используется также для электрического соединения привода с электронным блоком. Отсчет результатов измерения шероховатости поверхности производится с помощью среднего показывающего прибора, шкала которого градуирована по параметру  $Ra$  (СТ СЭВ 638—77). Призма 6 предназначена для установки цилиндрических деталей.

#### Техническая характеристика профилометра мод. 283

Пределы измерения параметра $Ra$ , мкм	0,02—10
Характеристики основной приведенной погрешности, %:	
предел допускаемой систематической составляющей	10
предел допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей	2
Длина трассы ощупывания при измерении, мм	1,5 и 4,8
Скорость трассирования измерительного преобразователя, мм/с	0,25 и 0,8
Значения отсечки шага, мм	0,25 и 0,8
Минимальный диаметр проверяемого отверстия, мм, на глубине до:	
20 мм	6
130 мм	16
Масса прибора, кг, не более	23

Профилометр мод. 240 завода «Калибр» также относится к приборам типа АП и предназначен для измерения шероховатости поверхности в цеховых условиях и в заводских лабораториях. Прибор имеет индуктивный измерительный преобразователь с алмазной ощупывающей иглой с радиусом кривизны при вершине 10 мкм и электронный блок со стрелочным показывающим прибором, шкала которого градуирована в значениях параметра  $Ra$ . Пределы измерения параметра  $Ra$  от 0,02 до 2,5 мкм.

Методы и средства проверки контактных профилометров последовательного преобразования профиля системы М регламентированы ГОСТ 8.241—77. Методы и средства проверки контактных профилографов последовательного преобразования профиля установлены ГОСТ 8.242—77.

Для измерения шероховатости поверхности можно применять также профилометры и профилографы зарубежных фирм, в частности, профилографы-профилометры типа «Talysurf» фирмы Rank Taylor Hobson.

Оптические приборы одновременного преобразования профиля. Эти приборы позволяют измерять параметры  $Rz$ ,  $R_{max}$  и  $S$ . Измерение параметров  $Ra$  и  $Ir$  связано с большой трудоемкостью.

**Интерферометры.** Принцип действия интерференционных приборов для измерения параметров шероховатости поверхности основан на использовании явления интерференции света, отраженного от исследуемой поверхности, и света, отраженного от образцовой поверхности, и зависимости формы образующихся интерференционных полос от параметров неровностей исследуемой поверхности. Интерференционные приборы позволяют измерять параметры неровностей поверхностей, высота которых не превышает приблизительно 1 мкм. Верхний предел измерения определяется в основном глубиной изображения интерферометра, которая зависит от апертуры объектива и увеличения прибора.

Отечественная промышленность выпускает интерферометры: МИИ-4; МИИ-9; МИИ-10; МИИ-11 и МИИ-12.

Оптическая схема микроинтерферометра МИИ-4 изображена на рис. 4. Пучок света от лампы 1 конденсором 2 проектируется в плоскость апертурной диафрагмы 3. Изображение апертурной диафрагмы 3 объективом 5 и полупрозрачной пластиной 8 проектируется в плоскости входов двух микрообъективов 7 и 10, а изображение полюсовой диафрагмы 4 проектируется в бесконечность. Вторичные изображения полюсовой диафрагмы объективами 7 и 10 проектируются соответственно на исследуемую поверхность 6 и плоское зеркало 11, которое используется в качестве образцовой поверхности. Пластина 9 служит для выравнивания длины хода в стекле двух интерферирующих пучков световых лучей.

Отраженные от исследуемой поверхности 6 и образцового зеркала 11 лучи проходят через микрообъективы 7 и 10, соединяются в полупрозрачной пластине 8 и при помощи объектива 13 и зеркала 14 направляются в окуляр 12. В фокальной плоскости окуляра наблюдается изображение исследуемой поверхности с системой интерференционных полос. Форма интерференционных полос в увеличенном масштабе воспроизводит профиль контролируемого участка поверхности. Величину искривления интерференционных полос, обусловленного влиянием

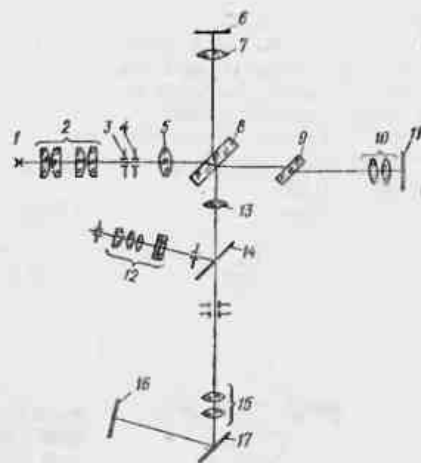


Рис. 4. Оптическая схема микроинтерферометра МИИ-4



неровностей исследуемой поверхности, измеряют винтовым окулярным микрометром МОВ-1 с увеличением  $15\times$ . Ширину и направление полос можно изменять, смещая объект на 10 перпендикулярно его оптической оси. Для фотографирования интерференционной картины ее изображение получают в кадровом окне 16 при помощи объектива 15 и зеркала 17. Зеркало 14 при этом из хода лучей выводят.

Пределы измерения параметра  $Rz$  от 0,03 до 1 мкм. Апертура прибора 0,65.

Интерферометр МИИ-9 имеет более простую конструкцию по сравнению с интерферометром МИИ-4. Пределы измерения параметра  $Rz$  от 0,03 до 1 мкм. Интерферометр МИИ-10 представляет собой иммерсионно-репликовый интерферометр, на котором исследуются не сами поверхности, а их отпечатки-реплики. Реплики целесообразно использовать при измерении шероховатости труднодоступных и внутренних поверхностей. Пределы измерения параметра  $Rz$  от 0,1 до 1 мкм.

Интерферометр МИИ-11 — многолучевой интерферометр с полем зрения 3 мм. Пределы измерения прибора от 0,005 до 1 мкм.

Интерферометр МИИ-12 предназначен для измерения шероховатости поверхностей с произвольным направлением неровностей, а также поверхностей со следами обработки в виде отдельных пор. Пределы измерения параметра  $Rz$  от 0,03 до 0,8 мкм.

**Приборы светового сечения.** Принцип действия приборов светового сечения основан на получении профиля исследуемой поверхности с помощью наклонно направленного к этой поверхности светового пучка.

Принципиальная оптическая схема двойного микроскопа МИС-11, который работает по методу светового сечения, показана на рис. 5, а. Световой пучок проходит через диафрагму с узкой щелью 1, объектив 2 и в виде узкого светового пучка падает на исследуемую поверхность 3. Угол наклона падающего светового пучка по отношению к исследуемой поверхности равен  $45^\circ$ . Под действием неровностей световая полоска, образующаяся на исследуемой поверхности, искривляется. Форма световой полоски соответствует форме профиля исследуемой поверхности. Изображение искривленной полоски объективом 4 микроскопа наблюдения проектируется в фокальную плоскость окуляра 5. Вид поля зрения микроскопа показан на рис. 5, б.

Микроскоп имеет четыре пары сменных объективов с увеличением от 87 до  $517\times$ . Пределы измерения микроскопа (параметр  $Rz$ ) от 0,8 до 80 мкм. Погрешность измерения зависит от общего увеличения микроскопа и составляет от 7,5 до 24%. Микроскоп позволяет фотографировать исследуемые профили поверхности. Фотографирование производится с помощью фотонасадки МФН-1 или МФН-3.

Оптические системы микроскопов МИС-11 имеют относительно малые диаметры линейного поля зрения, которые не соответствуют

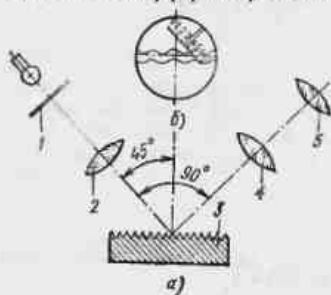


Рис. 5. Двойной микроскоп МИС-11

стандартизованным базовым длинам. Это существенный недостаток приборов.

Двойной микроскоп ПСС-2 также работает по методу светового сечения. Технические характеристики прибора ПСС-2 приблизительно соответствуют характеристикам микроскопа МИС-11. Однако приборы ПСС-2 имеют лучшие оптические характеристики. Оптические системы приборов ПСС-2 имеют большие диаметры линейного поля зрения, которые приближаются к стандартизованным базовым длинам.

**Растровый микроскоп ОРМ-1.** Этот микроскоп предназначен в основном для измерения параметров неровностей на наружных поверхностях с преимущественно направленными следами обработки. Микроскоп позволяет также измерять высоту ступенек, глубину штрихов и рисунок и толщину пленок.

Принцип действия микроскопа основан на использовании явления образования муаровых полос при наложении друг на друга изображений элементов двух периодических структур с равными шагами. При наличии неровностей на исследуемой поверхности образующиеся муаровые полосы искривляются. Величина искривления полос зависит от параметров неровностей поверхности.

#### Техническая характеристика микроскопа ОРМ-1

Пределы измерения параметра $Rz$ , мкм	0,4—40
Поле зрения, мм	2,5; 0,8; 0,4
Пределы измерения параметра $S$ , мкм	0,002—2,5
Предел допускаемой суммарной погрешности измерения высотных параметров, %, не более	16
Размеры экрана, мм	70×70
Размеры кадра на фотоплашке, мм	24×36
Масса, кг, не более	35

### 3. ВЫБОР СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

При выборе прибора для измерения параметров шероховатости поверхности следует учитывать возможность измерения на приборе параметра (параметров), установленного при нормировании шероховатости поверхности (параметра, указанного на чертеже); пределы измерения прибора и величины допустимых отклонений измеряемого параметра (параметров); погрешность измерительного прибора; требуемую производительность контроля; конструктивные особенности контролируемой детали; материал детали; экономические и другие факторы.

В соответствии со СТ СЭВ 638—77 измерение всех параметров шероховатости поверхности должно производиться на базовой длине, установленной при нормировании шероховатости поверхности. При использовании для измерения шероховатости поверхности базовых длин, отличных от нормированной базовой длины, следует учитывать, что результаты измерений могут значительно изменяться в зависимости от выбранной для измерения базовой длины.

Для наиболее ответственных измерений шероховатости поверхности следует применять приборы профильного метода, в частности, контактные профилографы и профилометры последовательного преобразования профиля системы М, которые позволяют производить измерения с высокой точностью. При применении контактных приборов сле-

дует учитывать, что оцупывающие иглы этих приборов оказывают царапающее действие и повреждают измеряемую поверхность. Этот эффект особенно сильно проявляется при измерении шероховатости поверхностей деталей, изготовленных из мягких материалов.

Бесконтактные оптические приборы целесообразно применять при измерении шероховатости поверхностей деталей, изготовленных из мягких материалов, и деталей, на поверхности которых недопустимы царапины или риски.

#### 4. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИБОРАМИ ПРОФИЛЬНОГО МЕТОДА

Основные правила проведения измерения параметров шероховатости поверхности с помощью приборов профильного метода установлены методикой МИ 41—75.

При измерении деталь устанавливают так, чтобы направление сечения, определяющего профиль, совпадало с направлением, указанным в технической документации. Для поверхности, свойства которой одинаковы во всех направлениях (изотропной) направление сечения может быть любым. Измерение шероховатости производят на нескольких участках, которые должны быть расположены по возможности равномерно по всей поверхности. Расстояния между участками измерения выбирают из условия обеспечения практически независимых результатов определения параметров шероховатости поверхности. Для большинства технических поверхностей это условие выполняется, если расстояния между участками измерения больше 2 мм.

Если допустимая погрешность измерения параметра  $Ra$  или базовая длина не заданы, то при применении контактных приборов последовательного преобразования профиля длину участка измерения и базовую

4. Соотношение между параметром  $Ra$ , базовой длиной  $l$  и длиной участка измерения  $L$

$Ra$ , мкм	Базовая длина $l$ , мм	Длина участка измерения $L$ , мм, не менее
0,006 до 0,02	0,06	0,4
> 0,02 > 0,32	0,25	1,5
> 0,32 > 2,5	0,8	4,0
> 2,5 > 10,0	2,5	10,0
> 10,0 > 80,0	8,0	32,0

длину выбирают в соответствии с табл. 4. При этом погрешность измерения  $Ra$  для большинства технических поверхностей не превышает 5—10%.

Измерение параметров шероховатости поверхности контактными профилографами и профилометрами последовательного преобразования профиля. Радиус кривизны рабочей части применяемой опоры преобразователя прибора должен быть не менее 50 значений базовой длины, на которой определяется параметр шероховатости.

Вертикальное и горизонтальное увеличения профилографа выбирают в соответствии с техническими характеристиками устройств, которые используются для дальнейшей обработки измеренного профиля. Вертикальное увеличение при этом должно быть наибольшим

из возможных. Угол наклона базовых сторон  $\alpha$  в профилограмме должен быть не более  $80^\circ$ .

При обработке профилограмм номинально прямолинейных профилей допускается визуальное проведение средней линии. При этом среднюю линию проводят параллельно общему направлению профиля так, чтобы площади по обеим сторонам от этой линии до профилограммы были примерно равны между собой. Точное положение средней линии определяют по соответствующей формуле. Допускается также применение для определения положения средней линии приближенных формул.

Для определения значения параметра  $Ra$  (в мкм) по профилограмме используют формулу

$$Ra = \frac{1}{v_v N} \sum_{i=1}^N |y_i| \cdot 10^3,$$

где  $v_v$  — вертикальное увеличение профилографа;  $N$  — число измеренных отклонений профиля;  $y_i$  — измеренные отклонения профиля в дискретных точках, мм.

Значение параметра  $Rz$  (в мкм) определяют по формуле

$$Rz = \frac{1}{5v_v} \left( \sum_{i=1}^5 h_{\max_i} - \sum_{i=1}^5 h_{\min_i} \right) \cdot 10^3.$$

Для определения параметра  $tp$  на участке профилограммы, определяемом базовой длиной, измеряют отрезки  $b_i$  (в мм), отсекаемые на заданном уровне  $p$  в материале выступов измеряемого профиля, и значение параметра находят по формуле

$$tp = \frac{1}{v_r l} \sum_{i=1}^n b_i,$$

где  $v_r$  — горизонтальное увеличение профилографа;  $l$  — числовое значение базовой длины, мм;  $n$  — число отрезков  $b_i$ .

Значение параметра  $Sm$  (в мм) определяют по формуле

$$Sm = \frac{1}{v_r n} \sum_{i=1}^n Sm_i,$$

где  $n$  — число шагов неровностей профиля.

Измерение параметров шероховатости поверхности при помощи микроинтерферометров и растровых измерительных микроскопов. Вертикальное увеличение интерферометров и растровых микроскопов, определяемое через ширину полосы (интерференционной, муаровой), выбирают исходя из оптимального числа полос в поле изображения прибора.

При измерении в поле изображения прибора одна из нитей перекрестия устанавливается параллельно направлению полос, а другая — параллельно направлению неровностей.

При применении для нахождения параметра  $Rz$  интерферометров МИИ-4, МИИ-5, МИИ-10 и растрового микроскопа измеряют ординаты пяти наибольших максимумов профиля  $h \max_i$  и пяти наибольших минимумов профиля  $h \min_i$  в делениях барабана микрометра и значение параметра  $Rz$  (в мкм) определяют по формуле

$$Rz = \frac{c_1}{e} \left( \frac{\sum_{i=1}^5 h \max_i - \sum_{i=1}^5 h \min_i}{5} \right),$$

где  $c_1$  — цена интерференционной, муаровой полосы прибора, мкм;  $e$  — ширина полосы в делениях барабана микрометра.

Для нахождения параметра  $R \max$  измеряют ординаты наивысшей точки профиля  $h \max$  и наинизшей точки профиля  $h \min$  в делениях барабана и значение  $R \max$  (в мм) определяют по формуле

$$R \max = \frac{c_1}{e} (h \max - h \min).$$

Измерение параметров шероховатости поверхности с помощью приборов светового сечения. Увеличение прибора выбирают в зависимости от предполагаемого числового значения измеряемого параметра и числового значения базовой длины.

Для определения  $Rz$  измеряют в делениях барабана микрометра ординаты пяти наибольших максимумов профиля  $h \max_i$  и пяти наибольших минимумов профиля  $h \min_i$ , и значение  $Rz$  (в мкм) находят по формуле

$$Rz = c_2 \left( \frac{\sum_{i=1}^5 h \max_i - \sum_{i=1}^5 h \min_i}{5} \right),$$

где  $c_2 = \frac{10}{2\Gamma_{об}}$  — цена деления барабана микрометра при измерении ординат, мкм;  $\Gamma_{об}$  — увеличение объектива прибора.

Для нахождения  $R \max$  измеряют ординаты  $h \max$  и  $h \min$  и значение  $R \max$  определяют по формуле

$$R \max = c_2 (h \max - h \min).$$

## ИЗМЕРЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ И ВАЛОВ МАЛЫХ И БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ

### 1. ИЗМЕРЕНИЕ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ

**Внутренние размеры.** Для малых размеров применение нутромеров практически исключено из-за недостаточной жесткости измерительных элементов. Из контактных методов применяют только двухконтактный метод измерения, основанный на применении двойного клина (рис. 1). Диаметр определяют измерением наружного размера  $D$  любым универсальным измерительным средством.

Диаметр отверстия у плоскости контролируемой стороны может быть измерен коническим измерительным калибром по глубине погружения в отверстие до контакта с измеряемой поверхностью. Метод пригоден для измерения с высокой точностью сквозных или глубоких отверстий.

Наибольшее распространение получили бесконтактные методы измерения на универсальных измерительных микроскопах. Диаметр определяют как разность отсчетов, полученных при наведении перекрестия визирного микроскопа в предельные точки контура изображения отверстия. Измерение возможно по двум координатам.

Измерение сквозных отверстий можно производить на проекторах (БП, ЧП-1, МНС-2) с помощью микрометрических винтов стола, смещая изображение в пределах диаметра. Проекторы могут работать (кроме МНС-2) как в проходящем, так и отраженном свете.

**Наружные размеры.** Измерение наружных размеров малых диаметров можно производить с помощью всех универсальных измерительных средств.

Наиболее часто применяют сравнительный метод измерения с использованием оптиметра, микрометра, миниметра и концевых мер длины. Для менее точных измерений применяют микрометры.

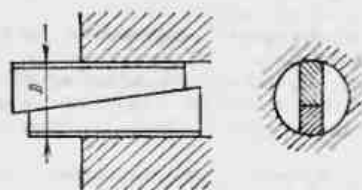


Рис. 1. Двойной клин для измерения отверстий малого диаметра

### 2. ИЗМЕРЕНИЕ БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ

#### ПРЯМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

**Внутренние размеры.** Для измерения внутренних размеров применяют нутромеры различных типов и конструкций с отсчетными устройствами. Наиболее широко применяют сборный микрометрический

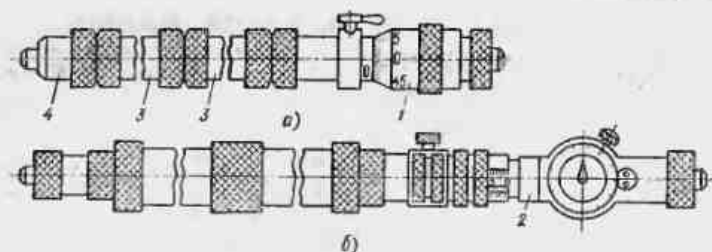


Рис. 2. Микрометрические нутромеры по ГОСТ 10—75;  
а — с микрометрической головкой; б — с индикаторной головкой

нутромер Челябинского инструментального завода (ЧИЗ) с внутренними измерительными стержнями. Для больших размеров применяют нутромеры с диапазонами измерения 150—1250, 700—2500, 1250—4000, 2500—6000, 4000—10 000 мм. Нутромеры состоят из удлинительов 3 (рис. 2, а), свинчиваемых друг с другом, к которым по концам привинчиваются жесткий наконечник 4 и микрометрическая головка 1. В комплект нутромеров с диапазонами измерения от 1250 мм входит, кроме того, индикаторная головка 2 с ценой деления 0,01 мм. В комплект нутромера входят установочные меры, предназначенные для проверки нулевого положения микрометрической головки и для установки на нуль индикатора.

Пределы допускаемых погрешностей нутромеров приведены в табл. 1.

Проверка нутромеров производится по ГОСТ 17215—71. На некоторых заводах применяют нутромеры собственного производства, отличающиеся только размером трубы.

1. Пределы допускаемых погрешностей микрометрических нутромеров (по ГОСТ 10—75)

Измеряемые размеры, мм	Пределы допускаемой погрешности, мм ( $\pm$ )	Допускаемые изменения длины при изменении подложки опор, мм	Допускаемое смещение измерительного наконечника при вращении нутромера в двух опорах (диаметр окружности), мм
Св. 500 до 800	15	—	1
> 800 > 1 250	20	—	1
> 1 250 > 1 600	25	5	2
> 1 600 > 2 000	30	10	3
> 2 000 > 2 500	40	15	3
> 2 500 > 3 150	50	25	4
> 3 150 > 4 000	60	40	4
> 4 000 > 5 000	75	55	6
> 5 000 > 6 000	90	70	8
> 6 000 > 7 000	110	90	10
> 7 000 > 8 000	130	110	10
> 8 000 > 9 000	150	130	12
> 9 000 > 10 000	180	160	12

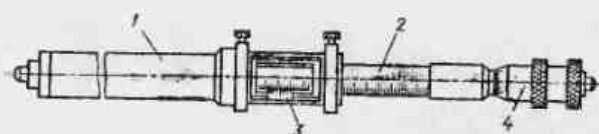


Рис. 3. Телескопический нутромер

Для размеров от 1500 до 10 000 мм применяют телескопические нутромеры (рис. 3), которые представляют собой трубу 1, внутрь которой вставлена выдвижная штанга 2 со шкалой. Грубый отсчет производится по шкале и нониусу 3, а точный — по микрометрической головке 4, расположенной на конце штанги.

**Наружные размеры.** Измерения наружных диаметров и длин производят микрометрами, скобами (дуговыми и линейными), штангенциркулями, масштабными линейками, рулетками и специальными измерительными средствами. Микрометры выпускают (по ГОСТ 6507—78) с пределами измерения только до 600 мм, на заводах применяют микрометры собственного производства с верхним пределом измерения до 2000 мм.

Скобы изготовляют либо с индикаторной головкой и жесткой пяткой, либо с индикаторной и микрометрической головками.

При размерах до 1000 мм корпус микрометра или дуговой скобы изготовляют из листовой стали с отверстиями для облегчения, при размерах от 1000 до 2000 мм корпус изготовляют сварным из труб.

Для измерения размеров от 1000 до 6000 мм применяют линейные скобы с цилиндрической трубой, для размеров свыше 3000 мм — скобы со сварной сигарообразной трубой (для повышения жесткости). На некоторых заводах применяют деревянные дуговые и линейные скобы. Благодаря низкой теплопроводности такие скобы не изменяют размер в процессе измерения.

Ленинградский инструментальный завод выпускает седлообразный индикаторный прибор (рис. 4), предназначенный для измерения отклонений формы длинных валов. Выпускают приборы с диапазонами измерения 300—800 мм (тип 6ПМ) и 800—1500 мм (тип 5ПМ).

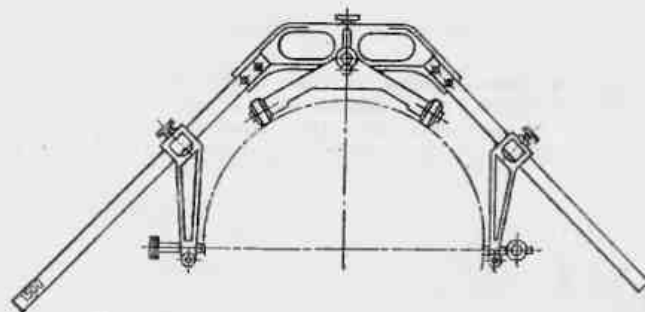


Рис. 4. Седлообразный индикаторный прибор

Штангенциркули применяют для измерений до 2000 мм. Ставропольский инструментальный завод (СТИЗ) выпускает по заказам штангенциркули с диапазонами измерений 1500—3000 и 2000—4000 мм и ценой деления 0,1 мм.

При невысоких требованиях к точности измерений применяют рулетки и масштабные линейки.

Для измерения размеров валов в процессе обработки на токарных станках применяют индикаторные приборы ПКД-1 и ПКД-5, разработанные в Ленинградском институте точной механики и оптики (ЛИТМО).

Прибор ПКД-1 предназначен для измерения размеров от 250 до 1250 мм, прибор ПКД-5 — для диаметров 550—730 мм. Приборы устанавливаются на каретке, прикрепляемой к суппорту станка. Пустотелая скоба прибора может перемещаться в горизонтальном и вертикальном направлениях и поворачиваться вокруг вертикальной оси, что позволяет выбирать нужную плоскость измерения. Приборы имеют дистанционное управление арретирующими элементами.

#### КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения от дополнительных измерительных баз. Этот метод позволяет использовать нутромеры с меньшими, чем измеряемый размер, пределами измерения. Измерительными базами могут быть поверхности измеряемого изделия, части станка, а также специальные колонки, опоры. На рис. 5, а показана схема измерения внутреннего размера  $D$  от принимаемой за базу колонки с размером  $d$ . Измеренный размер в этом случае  $D = d + 2l$ . При измерении наружного размера (рис. 5, б) измеренный размер  $D = d + (l_0 - l)/2$ .

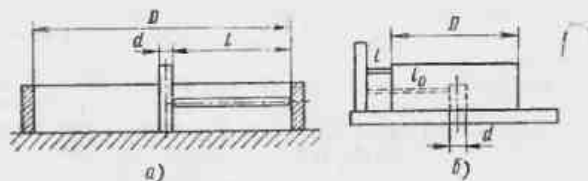


Рис. 5. Схема измерения от дополнительных баз

Измерения методом опоясывания. При этом методе измеряют периметр окружности  $L$  рулеткой или специальной металлической лентой. Результат измерения вычисляют по формуле  $D = L/\pi$ . В ЛИТМО разработан прибор ПДК-6 с пределами измерения от 1500 до 6000 мм [19]. Специальные ленты, рассчитанные на диапазон 15 мм, имеют на концах усеченные шарниры. Расстояние между шарнирами измеряется микрометрическими головками. Прибор обеспечивает постоянство усилия натяжения ленты и имеет сигнальное устройство, исключающее влияние измерительного усилия микрометрических головок. Измерительные ленты аттестуются на измерительной машине (типа ИЗМ) с помощью устройства ППД-3. Прибор закреплен на измеряемом валу постоянным магнитом. Прибор применим для измерения валов, изготавливаемых по квалификации ИТ8.

Определение диаметра по результатам измерения элементов окружности. Метод основан на расчете размеров по углу между касательными к измеряемой окружности и высоте сегмента, по длине хорды и высоте сегмента и др.

Для измерения применяют седлообразные приборы. На рис. 6 показан прибор с измерительной головкой. Прибор устанавливается на нуль на некоторый размер. Отклонение от размера настройки определяется по формуле

$$\Delta D = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}} \Delta h,$$

где  $\alpha$  — угол между измерительными плоскостями прибора;  $\Delta h$  — показание измерительной головки, мкм.

Зависимость  $\Delta D$  от  $\alpha$  для некоторых значений  $\alpha$  следующая:

$\alpha$	38° 56' 33"	60°	91° 10' 01"	112° 56'
$\Delta D$	$\Delta h$	$2\Delta h$	$5\Delta h$	$10\Delta h$

В ЛИТМО разработаны приборы ПКД-3 и ПКД-9 с диапазонами измерения 850—1200 мм и 1300—1700 см. Настройка — по аттестованной детали или по концевым мерам в специальном приспособлении. Отклонение измеряемого диаметра  $\Delta D$  от размера, на который установлен прибор, определяют по формуле

$$\Delta D = - \left( \frac{l^2}{h^2} - 1 \right) \Delta h,$$

где  $l$  — половина расстояния между осями опорных роликов;  $h$  — размер блока концевых мер, по которому производится установка прибора;  $\Delta h$  — отсчет по шкале измерительной головки. Знак минус перед скобой показывает, что с увеличением высоты сегмента диаметр уменьшается.

Установку прибора производят на плите по блоку концевых мер, размер которого  $h$  рассчитывают по формулам:

при измерении наружных диаметров

$$h = 0,5 [D + d - \sqrt{(D + d)^2 - 4l^2}];$$

при измерении внутренних диаметров

$$h = 0,5 [D - d - \sqrt{(D - d)^2 - 4l^2}],$$

где  $D$  — номинальный размер измеряемого диаметра, мм;  $d$  — диаметр роликов, мм;  $l$  — половина расстояния между осями роликов, мм.

Погрешность измерения при постоянной базе увеличивается с увеличением диаметра. Имеется прибор с переменной базой (ПКД-8).

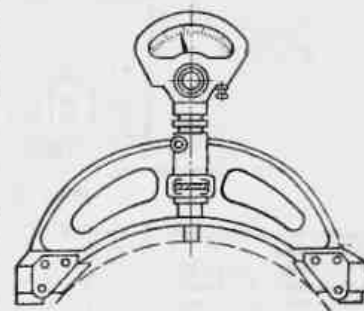


Рис. 6. Седлообразный измерительный прибор с измерительной головкой



## ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ И КОНУСОВ

Измерение углов производят: 1) методом сравнения, определяя величину отклонения измеряемого угла от величины угла угловой меры. Для этого, как правило, используют наряду с угловыми мерами средства измерений, применяемые (с приспособлениями или без них) для измерения длин; 2) методом непосредственной оценки приборами для измерения углов (гониометрами, делительными головками и столами, микроскопами, угломерами, приборами с уровнями, измерительными машинами и др.); 3) косвенно, определяя величину угла расчетом по результатам измерения длин, связанных с измеряемым углом тригонометрической функцией. При этом можно использовать синусные и тангенсные линейки, ролики и шарики совместно с универсальными или специальными средствами измерения длин.

Угловые меры (ГОСТ 2875—75\*) предназначены для поверки угломерных приборов и измерения углов методом сравнения. Они описаны в гл. 13.

## 1. УГЛОМЕРНЫЕ ПРИБОРЫ

К угломерным приборам относят угломеры, оптические делительные головки, оптические делительные столы, электроиндуктивные и магнитные угломерные приборы, маятниковые угломерные приборы, уровни (ГОСТ 11196—74, ГОСТ 3059—75), угломерные приспособления к измерительным микроскопам, синусные линейки, гонометры, автоколлиматоры.

Характеристики угломеров даны в табл. 1.

Оптические делительные головки (ОДГ) используют для измерения углов, для разметки и как делительные приспособления при обработке. Деталь при этом устанавливается в центрах или в кулачковых патронах. Измерение построено на сравнении контролируемых угловых величин с углами поворота шпинделя головки. Типы головок: ОДГ-5, ОДГ-10, ОДГ-60, ОДГ-2, ОДГ-5Э, ОДГ-30Э (цифры указывают цену деления в секундах, буква Э — наличие экранного отсчета). Высота центров 130 мм, но может быть увеличена добавлением прокладок (50, 100, 150 и 200 мм). Наибольший диаметр измеряемого в центрах изделия 250 мм. Наибольшая длина измеряемого в центрах изделия: при малой станине 600 мм, при большой станине 1100 мм. Допустимое радиальное биение оси шпинделя у головок типа ОДГ-2 — 0,001 мм; ОДГ-5 — 0,002 мм; ОДГ-10 — 0,003 мм и ОДГ-60 — 0,005 мм. В комплект оптической делительной головки входит приспособление для проверки правильности установки центров. Делительные головки поверяют по ГОСТ 8.046—73.

## 1. Характеристики угломеров

Тип	Цена деления основной шкалы	Цена деления шкалы конуса	Пределы показаний шкалы	Пределы измерения	Предельная погрешность показаний
Механические угломеры					
УН	1"	2' и 5'	+50° —40°	0—180° (внешние углы) 40—180° (внутренние углы)	2' и 5'
УМ			90°	0—90° (с угольником) 90—180° (без угольника)	
УМ <sub>1</sub>		15'		0—180°	15'
Угломеры оптические					
ОУ	1"	5'	90°×4	0—180°	±0,5'

Оптические делительные столы (ОДС) аналогичны по назначению ОДГ. Как технологические приспособления они могут использоваться на сверлильных, шлифовальных и фрезерных станках. Их два типа: ОДС и ОДС-2, которые отличаются погрешностью измерения. Характеристика ОДС-2: цена деления оптического микрометра 1", посадочное отверстие в столе конус Морзе № 3, диаметр платформы стола 400 мм, допустимая нагрузка на стол 5000 Н.

Гонометры служат для измерения углов бесконтактным методом с помощью автоколлиматора или коллиматора и зрительной трубы непосредственно по лимбу или сличением с образцовыми мерами. При измерении предмет устанавливают на стол, поворотом которого добиваются точного совмещения перекрестия сетки и ее изображения (отраженного от грани предмета) в поле зрения зрительной трубы с автоколлимационным окуляром. После снятия отсчета стол поворачивают до тех пор, пока вторая грань предмета не займет такое же положение относительно автоколлимационной зрительной трубы, как и первая грань. Разность отсчетов дает величину  $180^\circ - \alpha$ , где  $\alpha$  — искомый угол между гранями. Характеристики гонометров представлены в табл. 2.

Автоколлиматоры (табл. 3) предназначены для измерения малых углов, а также для измерения отклонений углов от их номинальных значений. Автоколлиматоры применяют при аттестации угловых мер. Кроме оптических выпускают фотоэлектрический автоколлиматор типа АФ-2.

Оптические квадранты предназначены для измерения углов наклона, а также для установки на заданный угол по отношению

## 2. Характеристики гониометров

Характеристики	Тип				
	ГС-1	ГС-2	ГС-5	ГС-10	ГС-30
Фокусное расстояние объективов зрительной трубы и коллиматора, мм	550—620		375—430	250—275	
Угловое поле зрения объективов зрительной трубы и коллиматора	40'		50'	1° 30'	
Цена деления шкалы отсчетного устройства, с	1	2	5	10	30
Расстояние от оси прибора до объективов зрительной трубы и коллиматора, мм	125			100	
Высота подъема столбика от нижнего положения до оси трубы, мм	35			20	
Диапазон поворота зрительной трубы, градусы	270				
Допускаемая погрешность измерения одним приемом из трех наведений, с	1	2	5	10	30
Масса объекта, помещаемого на стол прибора, кг не более	7			5	

## 3. Характеристики автоколлиматоров

Тип	Цена деления шкалы компенсатора, с	Цена деления минутной шкалы в поле зрения, мин	Поле зрения автоколлиматора, градусы	Фокусное расстояние объектива, мм	Увеличение трубы	Предел измерения (в минутах) при расстоянии до зеркала	
						до 2 м	до 30 м
АК-0,25	0,25	0,25	0,75	1030	50X	6	2
АК-0,5	0,5	0,5	1	400	30X	10	1,5
АК-1	1	1	2	250	20X	12	0,8
АК-5	5	2	3	150	10X	30	—
АК-30	—	0,5			15X		

Продолжение табл. 8

Тип	Расстояние (в мм) от основания до оси трубы на штативе		Погрешность показаний (в с) при измерении в координатных плоскостях		Длина автоколлиматора, мм	Масса автоколлиматора, кг, не более
	низком	высоком	одной	двух		
АК-0,25	100	300	$0,25 + \frac{\varphi}{100}$	$0,25 + \frac{\varphi}{50}$	650	30
АК-0,5			$0,5 + \frac{\varphi}{100}$	$0,5 + \frac{\varphi}{50}$	450	16
АК-1			$1 + \frac{\varphi}{100}$	$1 + \frac{\varphi}{50}$	350	12
АК-5			$5 + \frac{\varphi}{100}$	$5 + \frac{\varphi}{50}$	250	
АК-30			20	20		

## 4. Характеристики квадрантов

Квадрант	Предел измерения, градусы	Цена деления	Наибольшая погрешность между двумя любыми отсчетами	Габаритные размеры, мм
КО-10 КО-1М	0—360 0±120	1' 1'	±10" ±30"	125×150×220 150×85×140

к горизонту или вертикали поверхностей различных деталей, узлов и машин. Измерение углов и установива поверхностей на заданный угол осуществляют лимбом, соединенным с цилиндрическим уровнем. В табл. 4 представлены характеристики квадрантов. Квадрант КО-1М отличается от квадранта КО-10 наличием магнитного основания, что позволяет устанавливать прибор на наклонных поверхностях изделий из ферромагнитных материалов без дополнительного крепления.

Для измерения углов наклона плоских или цилиндрических поверхностей применяют уровни следующих типов: оптические типа И-114 с ценой деления 2" и погрешностью показания, не превышающей ±4" на всем диапазоне измерения, а в пределах средней части шкалы (по два деления от середины) ±2"; уровни с микрометрической



подачей ампулы; индуктивные уровни мод. 129 с ценой деления отсчетного устройства  $20''$ ,  $10''$ ,  $4''$ ,  $2''$  и пределами измерения соответственно  $\pm 100''$ ,  $\pm 50''$ ,  $\pm 8''$  и  $\pm 4''$ .

Косвенные измерения углов производят с помощью синусных линеек, концевых мер, роликов или шариков. Схема измерения с помощью синусной линейки представлена на рис. 1. В синусной линейке расстояние между осями роликов выполняется с высокой точностью и обеспечивается параллельность плоскости платформы,

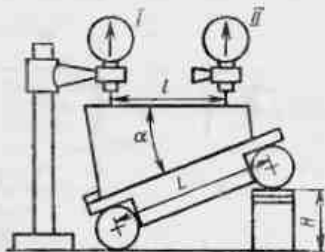


Рис. 1. Измерение на синусной линейке

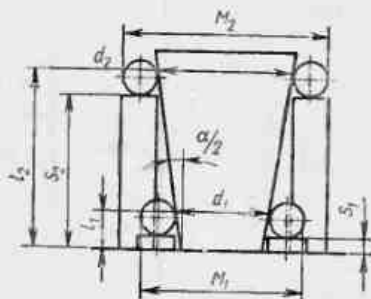


Рис. 2. Схема измерения двустороннего клина с помощью цилиндрических роликов и концевых мер длины

на которой установлена деталь, относительно плоскости, проходящей через оси роликов. Если на платформу установить конус с измеряемым углом  $\alpha$ , а под ролик установить блок из параллельных концевых мер длины, подобрав его размер  $H$  так, чтобы измерительный прибор, перенесенный из положения  $I$  в положение  $II$ , давал одинаковые показания, то угол  $\alpha$  можно найти затем из выражения  $\sin \alpha = H/L$ .

На практике пользуются и другим методом измерения углов. Блок из концевых мер длиной  $H$  рассчитывают с учетом номинального значения угла  $\alpha$ , а по разности  $\Delta h$  показаний измерительного прибора в положениях  $I$  и  $II$  находят отклонение  $\Delta \alpha$  этого угла по формуле

$$\Delta \alpha = \frac{\Delta h}{L} 206\,264.$$

На рис. 2 показана схема измерения углов с помощью калиброванных шариков или цилиндрических роликов в сочетании с плоскопараллельными концевыми мерами длины. Размеры клина  $d_1$  и  $d_2$  вычисляют по формуле

$$d = M - 2r \left( 1 + \cos \frac{\alpha}{2} \right),$$

где  $r$  — радиус ролика, мм.

Расстояния  $l_1$  и  $l_2$  от базовой плоскости вычисляют по формуле

$$l_i = S_i + r \left( 1 + \sin \frac{\alpha}{2} \right), \quad i = 1, 2.$$

Если неизвестной является величина  $S$ , то ее определяют из формулы по заданному значению  $l$ .

Конусность определяют из уравнения

$$K = \frac{M_2 - M_1}{S_2 - S_1} = \frac{d_2 - d_1}{S_2 - S_1}.$$

Угол  $\alpha/2$  можно определить по формуле

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{d_2 - d_1}{2(S_2 - S_1)}.$$



## 2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ КОНУСОВ

При контроле конусов выполняют операция, указанные в табл. 5. Кроме указанных в табл. 5 допускается применение и других средств измерения, имеющих погрешности измерения не более:

а) при измерении линейных размеров — величин, указанных в ГОСТ 8.051—73;

б) при измерении угла конуса: для конусов степени точности АТ4 — 35%, АТ5 и АТ6 — 30%, АТ7 и АТ8 — 25% от допуска на угол конуса;

в) при измерении отклонений прямолинейности образующей и отклонений от круглости — 30% от допуска на проверяемый параметр.

Контроль конусов степеней точности АТ4 и АТ5 необходимо производить при температуре  $20 \pm 5^\circ$ . При этом скорость изменения температуры не должна превышать  $1^\circ \text{C/ч}$ . Указанному контролю не должны подвергаться конусы, на которых имеются забоины, черновины, коррозии. Измерение угла конуса и прямолинейности образующей должно производиться на длине конуса, указанной в табл. 5 и не менее чем в двух осевых сечениях, расположенных примерно под углом  $90^\circ$ . Отклонения от круглости измеряют в сечении, отстоящем от диаметра  $D$  не более чем на 2 мм. Погрешность угла конуса калибров для настройки приборов не должна превышать  $2/3$  допуска на рабочие калибры соответствующих степеней точности.

Изложенные операции и указанные в табл. 5 средства контроля можно применять и при контроле других конусов.

6. Средства контроля параметров конусов инструментов

Операция	Точность проверяемых конусов	Средства контроля и их техническая характеристика
Внешний осмотр	A74—A78	Лула с увеличением 4 ... 6X
	A74—A78	
Контроль угла наружных конусов	A76—A78	Сидусная линейка 1-го класса (ГОСТ 4046—71) с расстоянием между рейками L; планта поверочная 0-го класса; концевые меры 0-го разряда
	A76—A78	
Контроль углов внутренних конусов	A74—A78	Универсальный прибор для контроля конусов или приборы, позволяющие определить разность значений, например система измерительная электронная МОД. 212
	A76—A78	
Контроль прямолинейности образующих наружных конусов	A74—A78	Универсальный прибор для контроля конусов или пневматический прибор
	A76—A78	
	A76—A78	

Головки измерительные типа ИИПМ, L = 300 мм

Головка с целой деления не более 2 мкм (ГОСТ 18633—73) L = 200 мм (для А77, А78) L = 100 мм вместо сидусной линейки можно использовать наклонный стол

Продолжение табл. 6

Операция	Точность проверяемых конусов	Средства контроля и их техническая характеристика
Контроль прямолинейности образующих внутренних конусов	A76—A78	Универсальный прибор для контроля конусов
	A74—A78	
	A76—A78	
Контроль круглости наружных конусов	A74—A78	Кругломеры
	A76—A78	
	A76—A78	
Комплексный контроль	A76—A78	Калибры конические, специальная краска
	A74—A78	
Контроль размеров длин наружных конусов	A76—A78	Конические калибры-штулки
	A76—A78	
Контроль смещения торца шулки относительно плоскости большего диаметра внутренних конусов	A74—A78	Конические калибры-пробки
	A76—A78	
Контроль симметричности плоскостей лопки наружных конусов	A74—A78	Конические калибры-штулки
	A76—A78	
Контроль симметричности плоскостей окла внутренних конусов	A74—A78	Конические калибры-пробки
	A76—A78	

## ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ РЕЗЬБЫ

Обозначения и определения параметров резьбы были даны в гл. 9.

Наиболее распространенной является метрическая крепежная резьба, поэтому в данной главе рассматриваются методы и средства контроля именно этой резьбы.

При назначении суммарного допуска на средний диаметр применяют комплексные методы контроля. Исключением являются случаи необходимости выявления того, какую именно долю от комплексной погрешности составляет погрешность одного (или нескольких) параметра резьбы: например, при исследовании технологического процесса, при выявлении причин брака и в других случаях, когда необходим контроль каждого параметра.

При назначении допусков отдельно на средний диаметр или на шаг резьбы также применяют дифференцированные методы контроля.

## 1. КОМПЛЕКСНЫЙ КОНТРОЛЬ РЕЗЬБЫ

Комплексный контроль осуществляют калибрами или измерительными средствами, имеющими наконечники, подобные калибрам по форме, а также проекционным методом — путем сравнения действительного и образцового контуров. Контроль калибрами является наиболее распространенным. Типы резьбовых калибров и допуски на них рассмотрены в гл. 14.

Проекционный комплексный контроль резьбы осуществляют на проекторах различных типов (см. гл. 15). Резьбовой профиль контролируемой детали проектируется на экран и сравнивается с одним образцовым или с двумя предельными, т. е. построенными по предельным размерам резьбы, профилями. Годность резьбы устанавливается либо по величинам отклонений от образцового профиля, определяемым по отсчетным устройствам прибора, либо по расположению действительного профиля относительно двух предельных.

## 2. ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ РЕЗЬБЫ

Контроль каждого параметра отдельно осуществляют при контроле резьбы калибрами, резьбообрабатывающего инструмента, ходовых и микрометрических винтов, весьма точных деталей, а также в других случаях, когда необходимо установить точность отдельных параметров резьбы. Для контроля применяют как универсальные средства, так

и специализированные. Характеристики универсальных средств приведены в гл. 15. Описания специализированных приспособлений к ним, методов измерения резьбы и специализированных приборов приведены в данной главе. Рассмотрим отдельно измерения наружных резьб (болтов) и внутренних (гаек).

**Измерение параметров наружной резьбы.** Простейший контроль собственно среднего диаметра производят в основном двумя способами: а) с помощью резьбовых вставок к универсальным приборам; б) с помощью проволочек или роликов, закладываемых во впадины резьбы.

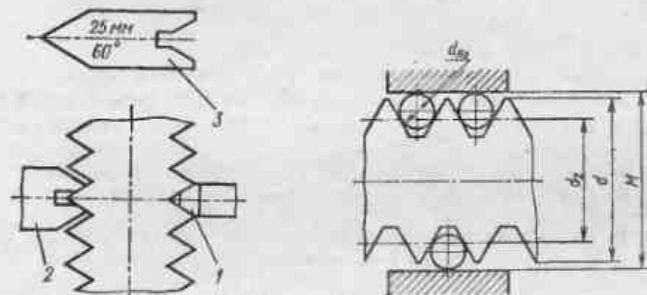


Рис. 1. Схема измерения  $d_2$  резьбы контактным прибором с резьбовыми вставками:

1 — коническая вставка; 2 — призматическая вставка; 3 — установочная мера

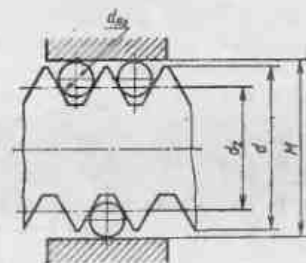


Рис. 2. Схема измерения  $d_2$  резьбы с применением проволочек

Если требуется контроль остальных параметров, то наружный диаметр  $d$  измеряют обычно универсальным прибором требуемой точности, внутренний диаметр  $d_1$  — с помощью специальных остроконечных вставок к микрометру, шаг  $P$  и угол  $\alpha/2$  — проекционными приборами.

**Измерение среднего диаметра наружной резьбы приборами с резьбовыми вставками.** Схема измерения показана на рис. 1. Для установки вставок прибор должен иметь гнезда; например, резьбовой микрометр отличается от обычного наличием гнезд в шпинделе и платке. Суммарная погрешность измерения среднего диаметра резьбы резьбовым микрометром близка к 0,2 мм. На величину суммарной погрешности влияют погрешность половины угла профиля измеряемой резьбы и резьбовых вставок, погрешность установки вставок в гнездах и погрешность показаний микрометра. При установке микрометра по достаточно точному образцу  $3$  погрешность может быть снижена, но и при этом методе она может достигать 0,1 мм. Резьбовые вставки (рис. 1) изготавливают парами — коническая 1 и призматическая 2. Размеры вставок зависят от шага резьбы. Для контроля метрических резьб всех размеров набор вставок состоит из семи пар.

**Измерение собственно среднего диаметра резьбы с помощью проволочек.** Этот способ контроля дает большую точность по сравнению с измерением резьбовыми вставками, что обеспечивается высокой точностью изготовления проволочек и применением кроме микрометров

контактных приборов с более высокой точностью показаний. Схема измерения среднего диаметра резьбы с помощью трех проволоочек показана на рис. 2. Метод измерения косвенный, так как прибором измеряется размер  $M$ , связанный с размером  $d_2$  уравнением

$$d_2 = M - d_{D_0} \left( 1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) + \frac{P}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}. \quad (1)$$

Для метрической резьбы уравнение имеет вид

$$d_2 = M - 3d_{D_0} + 0,866P, \quad (2)$$

где  $d_{D_0}$  — диаметр применяемых при измерении проволоочек, так называемый предпочтительный диаметр (СТ СЭВ 249—75).

Диаметры проволоочек  $d_{D_0}$  выбирают в зависимости от шага измеряемой резьбы (табл. 1). При применении проволоочек предпочтительного диаметра погрешности измерения минимальны. Точки касания таких проволоочек лежат на образующей воображаемого цилиндра, пересекающего резьбу в точках, определяющих размер среднего диаметра.

Для симметричных резьб размер  $d_{D_0} = \frac{P}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} = 0,5774P$ . Погреш-

ности угла  $\alpha$  проверяемой резьбы при этом на погрешность измерения не влияют.

Размер  $M$  должен не менее чем на 0,06 мм превышать размер наружного диаметра резьбы, для того чтобы поверхности проволоочек касались измерительных поверхностей прибора.

При некоторых измерениях следует применять проволоочки увеличенного диаметра  $d_{D_{\max}} = 1,2d_{D_0}$ , например: 1) если резьба имеет настолько большой допуск на средний диаметр ( $T_{D_2}$ ), что поверхности проволоочек, служащие для определения  $M$ , лежат внутри поверхности,

1. Диаметры измерительных проволоочек для контроля метрической резьбы (СТ СЭВ 242—75)

Шаг резьбы $P$ , мм	Диаметры проволоочек, мм			Шаг резьбы $P$ , мм	Диаметры проволоочек, мм		
	$d_{D_0}$	$d_{D_{\max}}$	$d_{D_{\min}}$		$d_{D_0}$	$d_{D_{\max}}$	$d_{D_{\min}}$
0,175	0,101	0,121	0,089	1	0,577	0,692	0,506
0,2	0,115	0,136	0,102	1,25	0,722	0,866	0,632
0,225	0,130	0,156	0,114	1,5	0,866	1,039	0,758
0,25	0,144	0,172	0,127	1,75	1,010	1,212	0,885
0,3	0,173	0,208	0,152	2	1,155	1,386	1,011
0,35	0,202	0,242	0,177	2,5	1,443	1,732	1,264
0,4	0,231	0,277	0,203	3	1,732	2,078	1,516
0,45	0,260	0,312	0,228	3,5	2,021	2,425	1,769
0,5	0,289	0,347	0,253	4	2,309	2,771	2,021
0,6	0,346	0,415	0,304	4,5	2,598	3,118	2,274
0,7	0,404	0,485	0,354	5	2,887	3,464	2,527
0,75	0,433	0,520	0,379	5,5	3,175	3,810	2,779
0,8	0,462	0,554	0,405	6	3,464	4,157	3,032

проходящей по выступам резьбы; 2) если при контроле трапецидальной резьбы проволоочки диаметром  $d_{D_0}$  касаются внутреннего диаметра резьбы. Возможно также применение проволоочек с меньшим диаметром  $d_{D_{\min}} = 0,5052P$ .

Предельные отклонения диаметров проволоочек равны  $\pm 0,5$  мкм, шероховатость поверхности  $Ra$  не более 0,04 мкм. При измерении резьб малой длины, например, неразрезных резьбовых калибров, применяют две проволоочки вместо трех. Уравнения (1) и (2) в этом случае будут иметь вид

$$d_2 = M - d_{D_0} \left( 1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) \frac{P}{2} \operatorname{ctg} \alpha - \frac{P^2}{8(M - d_{D_0})}. \quad (3)$$

Для метрической резьбы

$$d_2 = M - 3d_{D_0} + 0,866P - \frac{P^2}{8(M - d_{D_0})}. \quad (4)$$

Для измерения резьб с диаметром свыше 100 мм применяют одну проволоочку.

Проволочки выпускаются двух типов: гладкие и ступенчатые. Применяют проволоочки с приспособлениями для подвешивания или с приспособлениями для установки на приборе, т. е. с башмачками. Типы проволоочек, основные размеры и технические требования к ним установлены СТ СЭВ 242—75. Стандарт содержит таблицы диаметров проволоочек для измерения метрической ( $\alpha = 60^\circ$ ), трапецидальной ( $\alpha = 30^\circ$ ), трубной ( $\alpha = 55^\circ$ ) и упорной ( $\alpha = 33^\circ$ ) резьб.

Прибором, с помощью которого можно определить размер  $M$  с высокой точностью, является микрометр. Наибольшая точность достигается путем измерения среднего диаметра с помощью трех проволоочек на горизонтальном оптиметре. Резьба диаметром не более 60 мм устанавливается так, чтобы ось ее располагалась горизонтально. Ось резьбы диаметром более 60 мм располагается вертикально. Перед измерением оптиметр устанавливают на нуль по блоку из концевых мер, размер которого вычисляют по формуле (1) или (2). По показаниям прибора определяют отклонения измеряемого размера  $M$  от теоретического. Наружный диаметр  $d$  измеряют обычно теми же приборами, что  $d_2$ , но без применения проволоочек, т. е. путем непосредственного контакта с вершинами витков резьбы. Измерительные накопечники при измерении  $d$  и  $d_2$  применяются ножевидные.

Параметры наружной резьбы измеряют также на инструментальных и универсальных микроскопах типа БМИ и УИМ различных моделей. Эти приборы имеют устройства, позволяющие производить измерения как  $d_2$ , так и  $d_1$ , а также  $P$  и  $\frac{\alpha}{2}$ , используя отсчетные устройства приборов и общую для этих приборов окулярную сетку. Кроме того, к приборам прилагаются профильные сетки, на которых нанесены профили резьб различного типа и шага для визуальных, менее точных, измерений.

Две основные погрешности проекционного метода измерения вызваны следующими причинами.

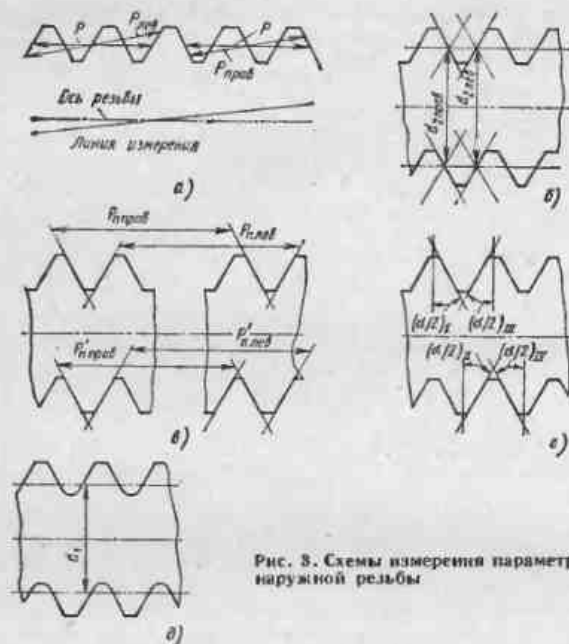


Рис. 3. Схемы измерения параметров наружной резьбы

1. Направления линий измерения не совпадают с направлением измеряемого размера. Визируя последовательно две точки (или линии) контура детали, за измеряемый размер принимают величину перемещения салазок микроскопа по направляющим. Практически размер шага должен определяться по линии оси центров, в которых установлено изделие, а размер диаметра — по линии, перпендикулярной оси центров. Ось центров не может быть идеально параллельной (или перпендикулярной) линиям направляющих прибора (т. е. линиям перемещения), что и вызывает погрешность измерения. Уменьшение этой погрешности достигается тем, что за результат измерения принимают среднее арифметическое измерений по правым и левым образующим профиля. Одно из измерений содержит погрешность с положительным знаком, а второе — с отрицательным, что видно из схемы измерения (рис. 3, а), на которой показано, что  $P_{лев} > P$ , а  $P_{прав} < P$ . Штриховыми линиями показаны последовательные положения визирующих штрихов окулярной сетки, кроме того, показано направление линии перемещения салазок микроскопа, т. е. линии измерения, и ось резьбы.

На схемах показано, что средний диаметр (рис. 3, б), размеры  $P_n$ , где  $n$  — число шагов резьбы по длине свичивания (рис. 3, в) и половины угла профиля (рис. 3, г) следует измерять по правым и левым сторонам профиля для уменьшения погрешности измерения, вызываемой непараллельностью линии размера и линии измерения.

Для резьб с  $P < 3$  мм размер  $P_n$  должен измеряться в верхней и нижней частях теневого изображения резьбы для уменьшения по-

грешности измерения, возникающей от возможного перекоса оси резьбы в вертикальной плоскости.

Для уменьшения погрешности измерения вследствие неточного визирувания, в особенности при измерении  $\frac{\alpha}{2}$ , рекомендуется производить несколько измерений (циклов) в зависимости от длины образующей профиля резьбы, а затем за результат принять среднее арифметическое. Чем меньше длина образующей, тем больше циклов измерений  $\frac{\alpha}{2}$  следует проделать. Число циклов измерения  $d_2$  и  $P_n$  зависит от длины резьбы, так как кроме погрешности измерения могут быть переменными и погрешности обработки. В результате одного цикла измерений получим

$$d_2 = \frac{d_{2\text{ лев}} + d_{2\text{ прав}}}{2}; \quad (5)$$

или

$$P_n = \frac{P_{n\text{ лев}} + P_{n\text{ прав}} + P'_{n\text{ лев}} + P'_{n\text{ прав}}}{4}$$

или

$$P_n = \frac{P_{n\text{ лев}} + P_{n\text{ прав}}}{2} \text{ для резьб с } P > \text{мм}. \quad (6)$$

За погрешность половины угла профиля принимают

$$\Delta \frac{\alpha}{2} = \frac{|\Delta \frac{\alpha}{2}|_{\text{прав}} + |\Delta \frac{\alpha}{2}|_{\text{лев}}}{2}, \quad (7)$$

$$\text{где } (\alpha/2)_{\text{прав}} = \frac{(\alpha/2)_{\text{III}} + (\alpha/2)_{\text{IV}}}{2}; \quad (\alpha/2)_{\text{лев}} = \frac{(\alpha/2)_{\text{I}} + (\alpha/2)_{\text{II}}}{2}.$$

Таким образом, погрешность, т. е.  $\Delta \frac{\alpha}{2}$ , всегда положительна.

На схеме измерения внутреннего диаметра  $d_1$  (рис. 3, д) показано, что линию штриховой сетки микроскопа следует устанавливать по точкам начала закругления впадин.

2. Теневое изображение резьбы не является ее осевым сечением, тогда как размеры всех параметров резьбы определены в осевом сечении резьбового изделия. Изображение профиля резьбы является искаженным осевым сечением ее в результате влияния угла подъема резьбы. Чем меньше шаг резьбы, тем более сильным является искажение. Частичное уменьшение погрешности измерения достигается наклоном стойки микроскопа на угол подъема резьбы  $\varphi$ , определяемый по формуле  $\text{tg } \varphi = P/n d_2$ .

При измерении шага резьбы в случае, если не требуется высокая точность, уменьшение погрешности измерения путем наклона стойки

можно считать удовлетворительным. При точных измерениях шага и при любых измерениях собственно среднего диаметра измерения следует производить непосредственно в осевой плоскости изделия. Для резьбы с шагом  $P > 0,5$  мм применяют приспособления, называемые измерительными ножами.

Измерительные ножи (рис. 4, а) устанавливают в державках на опорных пластинах на каретке микроскопа. Высота опорных пластин, прилагаемых к микроскопу, должна быть такой, чтобы для данного

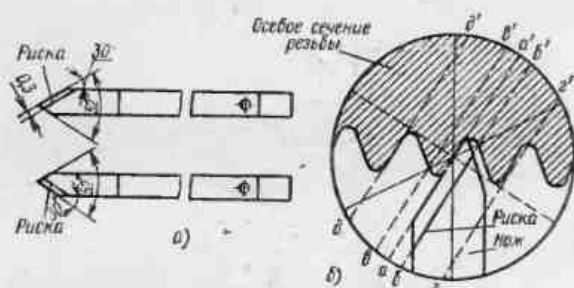


Рис. 4. Измерительные ножи:

а — ножи для резьбы с  $P < 1,5$  мм; б — положение ножа и штрихов окулярной сетки

элемента микроскопа поверхность ножа располагалась в плоскости, лежащей на высоте центров микроскопа. Лезвие каждого ножа должно касаться без просвета поверхности резьбы в ее осевом сечении.

На верхней поверхности каждого ножа нанесена риска, расположенная на расстоянии 0,3 мм от лезвия — для ножей, применяемых для измерения резьб с шагом до 1,5 мм, или на расстоянии 0,9 мм — для ножей, применяемых для измерения резьб с шагом свыше 1,5 мм. Эти расстояния называют рабочими размерами ножей, им соответственно равны расстояния между боковыми штриховыми линиями  $bb'$  или  $vv'$  и средней линией  $aa'$ , или линиями  $dd'$  или  $gg'$  и линией  $aa'$ , расположенными на окулярной сетке микроскопа. Таким образом, при измерении изображенне риски ножа совмещается с изображением боковой штриховой линии, а изображение лезвия ножа должно совпадать с изображением центральной линии (рис. 4, б). Более подробно техника измерения резьбы с ножами изложена в [3; 19].

**Измерение параметров внутренней резьбы.** В основном контроль резьбовых деталей производят рабочими калибрами, а контроль рабочих калибров для болтов, т. е. резьбовых скоб и колец — контрольными калибрами (см. гл. 14). Для ускорения свинчивания любых калибров применяют ручные или механизированные приспособления. Измерение среднего диаметра внутренних резьб можно производить при помощи штихмассов с резьбовыми вставками (рис. 5, а) и индикаторных приборов с раздвижными полупробками или сферическими вставками. На рис. 5, б изображен индикаторный прибор со сферическими раздвижными вставками. На рис. 5, в в увеличенном масштабе

изображена направляющая резьбовая пробка 1, ввинченная с зазорами в контролируемую резьбу 2. В пробку вмонтированы шариковые вставки 3. Перемещение вставок производится конической иглой 4 и отмечается индикатором 5.

Измерение собственно среднего диаметра внутренней резьбы с помощью вставок с шариковыми наконечниками может производиться также на горизонтальном оптиметре, настроенном для внутренних измерений. Перед измерением прибор устанавливают на нуль по блоку

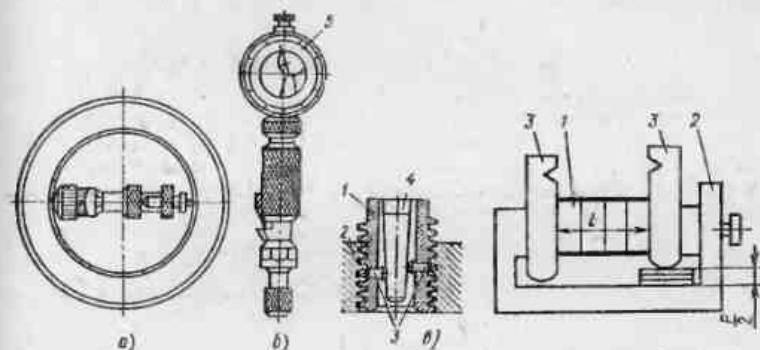


Рис. 5. Приборы для измерения параметров внутренней резьбы

Рис. 6. Приспособление для настройки на нуль приборов с шариковыми вставками

концевых мер 1, закладываемому в струбину 2, со специальными, имеющими вырезы для шариков боковиками 3 (рис. 6). Размер блока

$$l = d_n + H - (a + b), \quad (8)$$

где  $d_n$  и  $H$  — теоретические средний диаметр и высота резьбы,  $a$  и  $b$  — постоянные боковиков, маркируемые на их поверхностях. Под один из боковиков подкладывают блок из концевых мер, равный половине шага резьбы, т. е.  $\frac{P}{2}$ .

Для установки прибора на нуль можно также пользоваться аттестованным резьбовым кольцом, что более удобно, чем установка по концевым мерам.

**Измерение с шариковыми наконечниками** аналогично измерению собственно среднего диаметра проволочками. Наиболее точные диаметры шариков вычисляют по тем же формулам. Точность измерения связана в основном с точностью применяемых контрольных приборов (штихмасс, индикаторный прибор, оптиметр). Измерение резьб при помощи шариковых вставок возможно только при достаточно большом диаметре резьбового отверстия; так, например, измерение на оптиметре возможно для отверстий с диаметром больше 18 мм. Для измерения резьб крупных диаметров применяют накладные микроскопы и шагомеры.

**Измерение параметров внутренней резьбы на оптико-механических приборах.** Измерение всех параметров внутренней резьбы с шагом от

0,25 до 2 мм и средним диаметром от 18 до 98 мм можно производить при помощи специального микроскопа ИЗК-59, т. е. приспособления, прилагаемого к универсальному измерительному микроскопу УИМ. Принцип действия устройства ИЗК-59 основан на световом сечении. Измерение можно производить при помощи пространственной V-образной щели, плоской щели и световой точки. Более подробно способ измерения с помощью ИЗК-59 изложен в работе [9].

*Измерение параметров внутренней резьбы по слепкам или отливкам.* Полученные в результате заливки специальным сплавом резьбового отверстия слепки или отливки являются наружной резьбой, и параметры их могут быть измерены соответствующими средствами, указанными выше.

*Автоматические средства контроля резьбы* осуществляют либо контроль собственно среднего диаметра, либо контроль приведенного среднего диаметра, либо и то, и другое. В качестве примеров можно указать автомат БВ-538 для контроля корпусов запальных свечей и автомат Львовского политехнического института для контроля винтов.

## ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ДЕТАЛЕЙ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### 1. КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

В зависимости от поставленной цели контроль зубчатых колес может быть *приемочный* (окончательный) и *технологический*. При приемочном контроле устанавливают соответствие точности колеса предъявляемым требованиям, зависящим от назначения передачи. Технологический контроль используют при наладке технологических операций и для выявления причин брака.

В последнее время применяют *активный* контроль зубчатых колес, результаты которого используют для управления ходом технологического процесса (его подналадки, переключения режимов обработки и др.). Например, прибор БВ-4011 является подналадчиком к зубофрезерному станку ЭНИМС-5312. Он контролирует смещение исходного контура и изменение положения галтели у корня зуба. Прибор БВ-5014 предназначен для контроля осевого шага колес на зубошлифовальном станке КЗТС-5076 (с модулем от 2 до 12 мм) и для подналадки технологического процесса.

Поскольку точность зубчатых колес проверяют различными методами и средствами, СТ СЭВ 641—77, СТ СЭВ 311—76 и СТ СЭВ 186—75 установлены *комплексные* и несколько вариантов *поэлементных* показателей точности зубчатых (червячных) колес. Выбор показателей для контроля точности зубчатых колес зависит от условий производства, степени точности колес, их назначения, размеров, объема выпуска и других факторов. Комплексы показателей точности цилиндрических зубчатых колес и передач приведены в табл. 1. Комплексы контроля червяков, червячных колес и передач приведены в табл. 3. Все установленные комплексы, используемые при присыке зубчатых колес и передач, являются *равноправными*. Однако комплексы *неравноценны*. Наиболее полную информацию о годности колеса по каждой из трех норм, а также по виду сопряжения дают комплексные (функциональные) показатели.

Комплексными показателями являются наибольшая кинематическая погрешность колеса  $F'_{lr}$  и передачи  $F'_{ldr}$ , циклическая погрешность колеса  $f_{zhr}$  и передачи  $f_{zhdr}$ , циклическая погрешность зубцовой частоты в передаче  $f_{z20r}$ , суммарное пятно контакта и гарантированный боковой зазор  $f_n \text{ min}$ . Каждый последующий комплекс составляет хотя и значительную, но часть основной погрешности. Поэтому допуски и отклонения для показателей, не полностью выявляющих основную погрешность, установлены стандартами, меньшими, чем для комплексных показателей, например: допуски на накопленную погрешность шага меньше, чем на кинематическую и т. д. Контроль колес и передач по всем показателям установленного комплекса можно не производить,

1. Комплексы контроля по степеням точности для цилиндрических зубчатых колес и передач

Нормы	№ по табл. 1, гл. 10	Объект	Показатель или комплекс	Степень точности	
Кинематической точности	2 10 и 9 10 4 и 5 7 и 5 7 и 8 8 и 4 8 5	Зубчатое колесо	$F'_{lr}$	3-8	
	$F_{pr}$ и $F_{pkr}$		3-6		
	$F_{pr}$		7-8		
	$F_{cr}$ и $F_{rr}$		3-8		
	$F_{cwr}$ и $F_{rr}$		3-8		
	$F_{cwr}$ и $F'_{lr}$		3-8		
	$F'_{lr}$ и $F_{cr}$		5-8		
	$F'_{lr}$ $F_{rr}$		9-12 9-12		
1	Передача	$F'_{i0r}$	3-8		
Плавности работы	17 21 15 и 18 15 и 14	Зубчатое колесо	$f'_{lr}$	3-8	
	$I_{z2r}$		3-8		
	$I_{pkr}$ и $I_{lr}$		3-8		
	$I_{pkr}$ и $I_{ptr}$		3-8		
	19 15 14	с любым $\epsilon_r$	$f''_{lr}$	9-12	
	$I_{pkr}$		9-12		
	$I_{ptr}$		9-12		
	23 14	Передача	с $\epsilon_r$ , большим или равным по табл. 2	$I_{zkr}$	3-8
	$I_{ptr}$			5-8	
	16 20	Передача	с $\epsilon_r$ , меньшим, чем в табл. 2	$f'_{i0r}$	3-8
$I_{z2r}$	3-8				
22	Передача	с $\epsilon_r$ , большим или равным по табл. 2	$I_{zkr}$	3-8	

Продолжение табл. 1

Нормы	№ по табл. 1, гл. 10	Объект	Показатель или комплекс	Степень точности	
Контакты зубьев	37 36	Зубчатое колесо	с $\epsilon_r$ , меньшим, чем в табл. 2 *	$F_{flr}$ $F_{flr}$	3-12 3-12
	35 и 36 35 и 19		с $\epsilon_r$ , большим или равным по табл. 2 **	$F_{rpkf}$ и $F_{kr}$ $F_{rpkf}$ и $I_{pkr}$	3-9 3-9
	38 и 39	Передача	$I_{zkr}$ и $I_{zkr}$ *** Суммарное пятно контакта	3-12 3-12	

\* Для степеней точности 9-12 при любом  $\epsilon_r$ .

\*\* Для степени точности 9 при любом  $\epsilon_r$ .

\*\*\* Комплекс только для передач с регулируемым расположением осей.

2. Граничные значения  $\epsilon_r$

Степень точности по нормам контакта	3	4	5	6	7	8
	Граничные значения номинального коэффициента осевого перекрытия $\epsilon_r$	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0

3. Комплексы контроля по степеням точности для червяков, червячных колес и передач

Норма	№ по табл. 1, гл. 10	Объект	Показатель или комплекс	Степень точности
Кинематической точности	2 10 и 9 10 4 и 5 8 и 4 8 5	Червячное колесо	$F'_{lr}$	1-8
	$F_{pr}$ и $F_{pkr}$		1-6	
	$F_{pr}$		7-8	
	$F_{cr}$ и $F_{rr}$		1-8	
	$F'_{lr}$ и $F_{cr}$		8	
	$F'_{lr}$		9-12	
	$F_{rr}$		9-12	
1	Пара или передача	$F'_{i0r}$	1-8	



Продолжение табл. 3

Норма	№ по табл. 1 гл. 10	Объект	Показатель или комплекс	Степень точности
Плавности работы	29 и 26 28 и 29 28, 29, 18 и 26 27, 26 и 18	Червяк	$I_{hr}$ и $I_{rr}$ $I_{hr}$ и $I_{hr}$ $I_{hr}$ , $I_{hr}$ , $I_{rr}$ и $I_{rr}$ $I_{pxr}$ , $I_{rr}$ и $I_{rr}$	2—6 2—6 4—8 7—12
	23 19 14 и 18 14	Червячное колесо	$I_{zkr}$ $I_{lr}$ $I_{ptr}$ и $I_{rr}$ $I_{ptr}$	2—7 8—12 5—8 8—12
	22 и 20	Пара или передача	$I_{zkr}$ и $I_{zdr}$	2—8
Контакта зубьев и витков	41, 40 и 42	Пара или передача	Суммарное пятно контакта	2—12
		Пара или передача с нерегулируемым расположением осей	$I_{ar}$ , $I_{\Sigma r}$ и $I_{\Sigma r}$	2—12

если изготовитель существующей у него системой контроля производства гарантирует требуемую точность изделий.

При выборе комплекса для приемочного контроля зубчатых колес необходимо учитывать следующие общие положения.

1. Предпочтение следует отдавать комплексным показателям, позволяющим оценивать суммарную погрешность зубчатого колеса. Для оценки виброктивности зубчатых колес и передач предпочтительно осуществлять контроль кинематической погрешности с последующим гармоническим анализом, т. е. контролировать весь спектр циклических погрешностей.

2. Полную оценку точности колеса можно получить при контроле с измерительным колесом. При этом определяют наибольшую кинематическую погрешность  $F'_{ir}$ , циклическую погрешность  $I_{zkr}$ , пятно контакта и боковой зазор  $I_{rr}$ .

3. Предпочтительно применять методы контроля, дающие непрерывную информацию об измеряемом показателе по всему зубчатому колесу. Например, целесообразнее контролировать кинематическую погрешность, а не накопленную погрешность шага; колебание измерительного межосевого расстояния, а не радиальное биение зубчатого венца; погрешность обката, а не колебание длины общей нормали.

4. Предпочтение следует отдавать измерениям, проводимым на рабочей оси вращения зубчатого колеса.

## 4. Комплексы контроля цилиндрических зубчатых колес, применяемых в машиностроении

Нормы	Призмозубые и узкие косозубые колеса				
	измерительные, делительные	авиационные, автомобильные, станочные, тяговые	тракторные, краповые, сельскохозяйственных машин		
			Степень точности		
	3—5	4—6	6—8	6—9	9—11
Кинематической точности	$F'_{ir} (F_{pr})$	$F'_{ir} (F_{pr})$	$F''_{ir}$ и $F_{vWr}$	$F''_{ir} (F_{rr})$ и $F_{vWr}$	$F_{rr}$
Плавности работы	$I'_{ir}$ ( $I_{pbr}$ и $I_{lr}$ )	$I_{pbr}$ и $I_{lr}$	$I'_{ir}$	$I''_{ir}$ ( $I_{pbr}$ и $I_{ptr}$ )	$I_{ptr}$
Контакта зубьев	$F_{\beta r}$	$F_{\beta r}$	Пятно	Пятно	Пятно
Бокового зазора	$E_{Hr}$ ( $E_{Mr}$ )	$E_{Hr}$ ( $E_{Wmr}$ )	$E_{a'r}$ $E_{Wmr}$	$E_{a'r}$ ( $E_{Wmr}$ )	$E_{Wmr}$
Нормы	Широкие косозубые колеса				
	турбинные	редукторные	прокатные, подъемные		
			Степень точности		
	3—5	6—8	8—10		
Кинематической точности	$F_{rr}$ и $F_{cr}$ ( $F_{pr}$ )	$F_{rr}$ и $F_{cr}$ ( $F_{pr}$ )	$F_{rr}$ и $F_{cr}$		
Плавности работы	$I_{zkr}$	$I_{zkr}$ ( $I_{ptr}$ )	$I_{ptr}$		
Контакта зубьев	$F_{pxr}$ и $F_{kr}$ пятно ( $F_{pxr}$ и $I_{pbr}$ )	$F_{pxr}$ и $I_{pbr}$ пятно	Пятно		
Бокового зазора	$E_{Hr}$	$E_{Hr}$ ( $E_{Wmr}$ )	$E_{Wr}$ ( $E_{Wmr}$ )		

Примечание. В скобках указаны возможные комплексы контроля (обозначения см. табл. 1, гл. 10).

5. Предпочтительно применять методы контроля, которые дают непосредственную оценку показателей точности (не требуется пересчет или другая математическая обработка). Например, предпочтительны измерение накопленной погрешности шага с помощью прибора с угловым устройством, а не определение величины накопления по результатам измерения равномерности шага; контроль смещения исходного контура, а не контроль размера по роликам и т. д.

Рекомендуемые комплексы проверок для цилиндрических зубчатых колес, применяемых в машиностроении, приведены в табл. 4. Эти рекомендации являются ориентировочными и могут быть скорректированы в зависимости от условий производства. Стандартами установлено, что если показатели кинематической точности, плавности работы или контакта зубьев колес соответствуют требованиям стандарта и требование селективной сборки не выдвигается, то контроль кинематической точности, плавности или пятна контакта зубчатой передачи не обязателен. При соответствии норм точности окончательно собранной передачи требованиям стандарта контроль кинематической точности, плавности работы или контакта зубьев не является необходимым.

## 2. ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Классификация приборов для контроля цилиндрических, конических, червячных зубчатых колес, червяков, а также термины и определения классификационных групп этих приборов даны в рекомендации СЭВ РС 5298—75.

Приборы делят: 1) по назначению на приборы для контроля зубчатых колес: цилиндрических С, конических К, червячных G, червяков Z, других колес (смешанных, спирондных передач и спирондных червяков) R; 2) по конструкции на типы: станковые S, накладные M; 3) по параметрам (диаметрам и модулям) контролируемых колес на типоразмеры:

S 01, S 02... M01, M02... — для колес с  $m < 1$ ;  
S 1, S 2... M1, M2... — » » с  $m > 1$ ;

4) по контролируемым показателям точности на группы: 1 — приборы для контроля кинематической погрешности, 2 — приборы для контроля погрешности шага, 3 — приборы для контроля радиального биения и т. д. (всего 14 групп); 5) по точности на классы точности А, АВ и В. Приборы класса точности А можно применять для контроля зубчатых колес, начиная с 3-й степени точности, классов АВ и В — соответственно начиная с 5 и 7-й степеней точности. Типы, основные параметры и нормы точности приборов для контроля цилиндрических зубчатых колес приведены в ГОСТ 5368—73. Приборы для контроля цилиндрических зубчатых колес изготавливают двух типов: СЦ — станковые с устройством для базирования проверяемых колес и НЦ — накладные.

Средства контроля точности цилиндрических зубчатых колес и передач, выпускаемые в СССР, приведены в табл. 5. В табл. 6 приведены измерительные средства для контроля червяков, червячных колес и передач. Предельно допускаемые погрешности измерения зубчатых колес, рекомендуемые БВ (Бюро взаимозаменяемости) Минстанкопрома, указаны в табл. 7.

5. Измерительные средства для контроля цилиндрических зубчатых колес средних размеров и модулей

Степень точности	Контролируемый параметр	№ по пор.	Наименование и модель прибора	Параметры контролируемых колес, мм
3—8	Кинематическая погрешность зубчатого колеса $F_{Ir}$	1	Прибор для контроля кинематической погрешности БВ-5053	$d_a = 10 \div 200$ ; $(d_a = 60 \div 160) *$
		2	Прибор для контроля кинематической погрешности БВ-936	$d_a = 40 \div 300$
		3	Прибор для контроля кинематической погрешности типа БВ-5058	$d_a = 20 \div 320$
		4	Прибор для контроля кинематической погрешности (без измерительных колес) БВ-5030	$d_a = 20 \div 400$ ; $(d_a = 60 \div 300) *$ ; $m = 0,5 \div 10$
		5	Прибор для однопрофильного контроля УКМ-3М	$m = 0,5 \div 10$ ; $d_a = 20 \div 400$
		6	Прибор для однопрофильного контроля УКМ-5	$m = 1 \div 10$ ; $d_a = 20 \div 400$
3—8	Накопленная погрешность шага $F_{pr}$	7	Прибор для поэлементного контроля цилиндрических и конических колес и шестерен БВ-5015	$d_a = 20 \div 100$ ; $m = 1 \div 16$
		8	См. № 41	$d_a = 20 \div 400$ ; $m = 1 \div 10$
		9	Прибор для контроля накопленной погрешности шага на угле $180^\circ$ ШМ-2	$d_a = 5 \div 160$ ; $m = 0,3 \div 1,5$
		10	Прибор для контроля накопленной погрешности шага на угле $180^\circ$ ШМ-1	$d_a = 20 \div 320$ ; $m = 1 \div 80$
		11	Оптическая делительная и отсчетная головки	$d_a =$ до 250

Продолжение табл. 5

Степень точности	Контролируемый параметр	№ по пор.	Наименование и модель прибора	Параметры контролируемых колес, мм
3—8	Колебания измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса $F_{ir}$	12	Прибор для контроля измерительного межосевого расстояния (межцентромер) МЦ-160	$d_a = 25 \div 160$
		13	Прибор для контроля измерительного межосевого расстояния МЦ-400Б	$a_w = 50 \div 320$
14		Прибор для контроля измерительного межосевого расстояния с самописцем и приводом МЦ-320 М	$a_w = 50 \div 320$	
15		Прибор для контроля измерительного межосевого расстояния МЦМ-630 (БВ-5029)	$a_w = 150 \div 630$	
16		Прибор для поэлементного контроля зубчатых колес БВ-5050	$d_a = 200 \div 1000$	
7—12		Радиальное биение зубчатого венца $F_{rr}$	17	Биенмер мод. 25002
		18	Биенмер Б-10м	$d_a = 20 \div 400$ ; ( $d_a = 50 \div 250$ ) *; $m = 1 \div 10$
		19	См. №№ 7, 16	—
7—12	Колебание длины общей нормали $F_{\Sigma W_f}$	20	Микрометры зубомерные (нормалемеры) МЗ	$W = 0 \div 100$ (четыре типоразмера)
		21	Нормалемеры мелко-модульные БВ-5047-25, БВ-5047-50	$W = 0 \div 50$ (два типоразмера)
		22	Нормалемер БВ-5045	$W = 0 \div 120$
		23	Нормалемер БВ-5046	$W = 50 \div 350$
		24	Нормалемер 2221-К	$W = 150 \div 700$
		25	См. № 7	—

Продолжение табл. 5

Степень точности	Контролируемый параметр	№ по пор.	Наименование и модель прибора	Параметры контролируемых колес, мм
7—12	Погрешность обката $F_{\sigma}$	26	Теодолит с автоколлиматором	—
		27	Кинематометр магнитоэлектрический МЭК-2	—
		28	Прибор для автоматического измерения кинематической погрешности (точности) зубофрезерных станков мод. КН-6М	Отношение от 1 : 20 до 1 : 30

## Нормы плавности работы

Местная кинематическая погрешность $i_{ir}$	29	Волномеры БВ-5024 и БВ-5024-с	$m = 1,5 \div 10$
	30	См. №№ 1, 2, 5, 6	—
Колебания измерительного межосевого расстояния на одном зубе $i'_{ir}$	31	См. №№ 12, 13, 14, 15, 16	—
Отклонение основного шага (шага зацепления) $i_{pbr}$	32	Шагомер для контроля шага зацепления цилиндрических зубчатых колес мод. 21501, 21601, 21701	$m = 1,75 \div 10$ (мод. 21501); $m = 8 \div 16$ (мод. 21601); $m = 16 \div 40$ (мод. 21701)
	33	Шагомер для контроля шага зацепления и разности любых шагов БВ-5001М	$m = 2 \div 10$ ; $d_a \text{ min} = 200$
	34	Шагомеры для контроля шагов и шага зацепления БВ-5043 и БВ-5044	$m = 2 \div 16$ ; (БВ-5043); $m = 10 \div 28$ ; (БВ-5044)
	35	См. № 7	—

Продолжение табл. 5

Степень точности	Контролируемый параметр	№ по пор.	Наименование и модель прибора	Параметры контролируемых колес, мм
—	Погрешность профиля $I_{fr}$	36	Эвольвентомер универсальный КЭУ-СМЕ	$d_a = 20 \div 320$ ; $m = 1 \div 10$
		37	Эвольвентомер БВ-5032	$d_a = 20 \div 400$ ; $(d_a = 60 \div 250) *$ ; $m = 0,5 \div 10$
8-8	Отклонение шага $I_{ptr}$	38	Эвольвентомер индивидуально-дисковый с устройством для контроля винтовой линии БВ-1089	$d_a = 20 \div 400$ ; $m = 1 \div 16$
		39	См. №№ 6, 7, 8, 9, 10, 15, 32, 33	—

Нормы контакта

8-8	Суммарное пятно контакта	40	Контрольно-обкатные станины, контрольные приспособления в рабочем корпусе	—	
	Осевой шаг $F_{ptr}$	41	Контактомер универсальный с устройством для контроля осевого и углового шагов БВ-5028	$d_a = 20 \div 400$ ; $m = 1 \div 10$	
	Погрешность контактной линии $F_{kr}$	42	См. № 40	—	
	Примыслимость контактной линии	43	См. № 40	—	
	Направление зуба $F_{br}$		44	Прибор для контроля направления зуба БВ-986	$d_a = 60 \div 250$ ; $m = 1,5 \div 6$
			45	Ходомер БВ-5034	$d_a = 20 \div 400$ ; $m = 1 \div 10$
46			См. №№ 37, 40	—	

Продолжение табл. 5

Степень точности	Контролируемый параметр	№ по пор.	Наименование и модель прибора	Параметры контролируемых колес, мм
Нормы бокового зазора				
—	Смещение пскодного контура $E_{ftr}$	47	Зубомеры смещения: 2301 2311 2321	$m = 2 \div 10$ $m = 8 \div 40$ $m = 28 \div 60$
		48	См. №№ 11, 12, 13, 14, 15	—
3-8	Отклонение средней длины общей нормали $E_{Wmt}$	49	См. №№ 6, 19, 20, 21, 22, 23	—
		50	Зубомеры хордовые: ЗИМ-16 ЗИМ-32	$m = 1 \div 16$ $m = 16 \div 32$
—	Отклонение толщины зуба $E_{ct}$	51	Зубомеры хордовые БВ-5016К	$d_a$ от 105; $m = 1 \div 10$
		52	Универсальные измерительные средства в сочетании с роликами или проволочками для контроля резьбы	—

\* Приведен диапазон диаметров для колес внутреннего зацепления.

6. Средства измерения цилиндрических червяков, колес и червячных передач

Объект контроля	Степень точности	Контролируемый параметр	№ по пор.	Наименование и модель прибора	Параметры контролируемых изделий, мм
Червячное колесо	1-8	Кинематическая и циклическая погрешности $F_{tr}$ и $I_{zkr}$	1	Кинематометр магнито-электрический МЭК-2	—
			2	Прибор для контроля кинематической погрешности зубофрезерных станков КИ-6	Отношение от 1 : 20 до 1 : 30

Продолжение табл. 6

Объект контроля	Степень точности	Контролируемый параметр	№ по пор.	Наименование и модель прибора	Параметры контролируемых изделий, мм
Червячное колесо	1—12	Радиальное биение зубчатого венца $F_{rr}$	3	Биенномер Б-10М	$d=20 \div 400$
			4	Биенномер мод. 25002	$d=5 \div 180$ ; $m=0,2 \div 2$
			5	См. № 6	
	1—8	Накопленная погрешность шага $F_{pt}$	6	Прибор универсальный для поэлементного контроля колес и шестерен БВ-5015	$d=20 \div 400$ ; $m=1 \div 16$
			7	Контактомер универсальный с устройствами для контроля осевого и углового шагов БВ-5028	$d=20 \div 400$ ; $m=1 \div 10$
			8	Прибор для контроля накопленной погрешности шага на угле $180^\circ$ ШМ-2	$d=5 \div 160$ ; $m=0,3 \div 1,5$
			9	Прибор для контроля накопленной погрешности шага на угле $180^\circ$ ШМ-1	$d=20 \div 320$ ; $m=1 \div 8$
			10	Оптическая делительная и отсчетная линейная головка	—
			11	Прибор для контроля измерительного межосевого расстояния (междомер) МЦ-160	$a_w=20 \div 160$
	8—12	Колесное измерительное межосевое расстояние за оборот и на одном зубе колеса $F_{ir}$ и $I_{ir}$	12	Прибор для контроля измерительного межосевого расстояния МЦ-400Б	$a_w=50 \div 320$

Продолжение табл. 6

Объект контроля	Степень точности	Контролируемый параметр	№ по пор.	Наименование и модель прибора	Параметры контролируемых изделий, мм
Червячное колесо	8—12	Колесное измерительное межосевое расстояние за оборот и на одном зубе колеса $F_{ir}$ и $I_{ir}$	13	Прибор для контроля измерительного межосевого расстояния с самописцем и моторприводом МЦ-320М	$d=320$
			14	Прибор для контроля измерительного межосевого расстояния МЦ-630 (БВ-5029)	$d=200 \div 800$
Червяк	8—12	Отклонение межосевого расстояния в обработке $l_{acr}$ Смещение средней плоскости колеса в обработке $l_{scr}$	15	Обрабатывающий станок с использованием специальных приспособлений, оправок и чувствительных уборов	—
			16	Эвольвентомер индивидуально-дисковый с устройством для контроля винтовой линии БВ-1089	$d=20 \div 400$
	2—6	Погрешность винтовой линии червяка $f_{hr}$ и $l_{hkr}$	17	Ходомер БВ-5034	$d=20 \div 400$
			18	Приборы для комплексного контроля червячных фрез БВ-1025	$d=10 \div 100$
			19	Прибор для комплексной проверки червячных фрез мелких и средних модулей БВ-5005	$d=40 \div 250$
1—12	Отклонение осевого шага $l_{pax}$	20	Прибор для поэлементного контроля червячных фрез мод. 19295	$d=40 \div 250$	

Продолжение табл. 6

Объект контроля	Степень точности	Контролируемый параметр	№ по пор.	Наименование и модель прибора	Параметры контролируемых изделий, мкм
Червяк	1—12	Отклонение осевого шага $f_{ax}$	21	Контактомер универсальный с устройством для контроля осевого и углового шагов мод. БВ-5028	$d=20-400$
			22	См. № 17	—
			23	Универсальный микроскоп	$d \leq 200$
	1—12	Погрешность профиля витка $f_{Dr}$	24	См. №№ 17, 19, 20, 21, 22	—
	1—12	Радиальное биение витков червяка $f_{rr}$	25	Универсальный микроскоп, отсчетное устройство со сферическим накопчиком	—
Червячная передача	2—12	Кинематическая и циклическая погрешности передачи	26	См. №№ 1, 2, а также табл. 5	—
			27	Специальные приспособления с постоянным межосевым расстоянием	—
	2—12	Пятно контакта	28	Контрольно-обкатные станки	См. табл. 5
			29	Контроль опорных гнезд корпуса с помощью специальных и универсальных измерительных средств	—
		Отклонение межосевого расстояния $f_{ar}$ Смещение средней плоскости $f_{xr}$ Отклонение межосевого угла $f_{\Sigma r}$			

Продолжение табл. 6

Объект контроля	Степень точности	Контролируемый параметр	№ по пор.	Наименование и модель прибора	Параметры контролируемых изделий, мкм
Червячная передача	—	Наименьшее отклонение толщины $E_{ss}$ и допуск на толщину витка червяка $T_{\Sigma}$	30	Универсальный микроскоп	$d \leq 200$
			31	Контроль с помощью проволок и роликов с использованием универсальных измерительных средств	—
			32	Зубомеры хордовые ЗИМ-16 и ЗИМ-32	$m \neq 1+16$ и $m \neq 10+32$

7. Допускаемые предельные погрешности измерения зубчатых колес в % от допуска на контролируемую величину

Нормируемые параметры	Степень точности						
	3	4	5	6	7	8	9—12
Кинематическая и циклическая погрешности для зубчатых колес:							
широких	32,5	30	27,5	25	—	—	—
узких	30	27,5	25	20	—	—	—
Накопленная погрешность шага	32,5	30	27,5	25	20	15	—
Радиальное биение зубчатого венца	20	20	15	15	15	10	10
Колесные длины общей нормали	20	20	20	15	15	15	10
Погрешность обката	25	25	25	25	—	—	—
Колесные измерительного межосевого расстояния	—	—	27,5	25	20	15	10
Разность шагов	—	—	—	—	25	20	15
Шаг зацепления	35	35	32,5	30	27,5	25	20
Эвольвентный профиль	35	35	35	32,5	30	27,5	—
Контактная линия (форма и расположение) * цилиндрических колес	35	35—32,5	32,5	32,5—30	30—27,5	27,5—25	—

\* Различные предельные погрешности измерения для одной степени точности установлены в зависимости от модуля контролируемых колес.

Продолжение табл. 1

Нормируемые параметры	Степень точности						
	3	4	5	6	7	8	9—12
Осевой шаг	35	35	35	32,6	30	30	27,5
Измерительное межосевое расстояние**	—	—	25—20	20—15	15	10	10
Смещение исходного контура**	25	25—20	25—20	25—20	20—15	10	10

Примечания. 1. Допускаемые предельные погрешности измерения бокового зазора для сопряжений Д, Е, Н — 8%, для С — 10%, для А и В — 25%.

2. Допускаемые предельные погрешности измерения межосевого расстояния для сопряжений Д, Е, Н — 27,5%, для С — 25%, для В — 20%, для А — 15%.

\*\* Различные предельные погрешности измерения для одной степени точности установлены в зависимости от вида сопряжения.

### 3. КОНТРОЛЬ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ

Контроль кинематической и циклической погрешностей. Основным видом контроля кинематической точности колес является комплексная проверка зубчатого колеса в однопрофильном зацеплении с измерительным колесом (червяком или рейкой). Однопрофильный контроль (рис. 1)

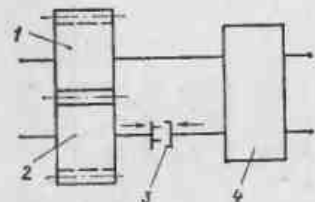


Рис. 1. Принципиальная схема прибора для контроля кинематической погрешности зубчатых колес

заключается в определении с помощью устройства 3 разности действительных углов поворота ведомых звеньев двух систем, из которых одна состоит из контролируемого колеса 2, находящегося в однопрофильном зацеплении с измерительным колесом 1, а другая — из эталонной передачи 4 с заданным передаточным отношением, кинематической погрешностью которой можно пренебречь. Достоинством однопрофильного контроля является то, что условия зацепления при проверке соответствуют условиям работы колес в механизме.

Рассмотрим схему прибора БВ-936 для контроля колес диаметром 40—300 мм, с модулем 1—10 мм (рис. 2).

Между рабочим роликом 1 и натяжком 10 натянута непрерывная гибкая стальная лента 2. Подобная же лента опоясывает рабочий ролик 7 и натяжной 11. С лентой 2 соединена каретка 3, которая тянется лентой в продольном направлении. На этой каретке расположен ролик, воздействующий на одно плечо прямоугольного рычага 4, ось поворота которого расположена на каретке 6. Второе плечо рычага толкает через ролик каретку 5 по поперечным направляющим. На каретке 5

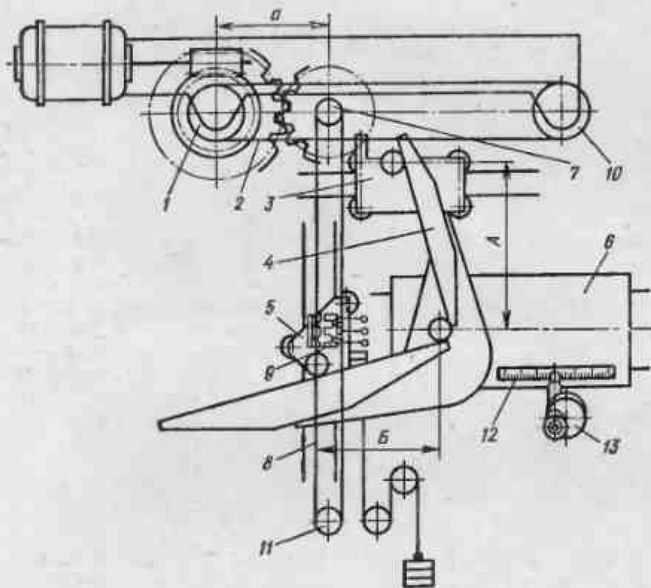


Рис. 2. Схема прибора БВ-936

расположена одна из частей индуктивного преобразователя 9, а вторая его часть прикреплена к ленте 8.

Соосно рабочим роликам 1 и 7 устанавливаются контролируемое и измерительное колеса, которые находятся в однопрофильном зацеплении. Вращение ролика 1 от электродвигателя через ременную, зубчатые и червячные передачи, встроенные в прибор, передается параллельно по двум ветвям: через зубчатую контролируемую передачу и через эталонную передачу прибора. Погрешности контролируемой зубчатой передачи вызывают относительные смещения частей индуктивного преобразователя 9, которые передаются на самопишущий прибор БВ-662 и регистрируются в виде диаграммы кинематической погрешности.

Настройку прибора на размер Б производят по неподвижной стеклянной шкале 12 и спиральному микроскопу 13 с величиной отсчета 0,001 мм, укрепленному на каретке 6.

Прибор соответствует классу В и обеспечивает контроль колес от 5-й степени точности при использовании измерительного колеса 3-й степени точности.

Для определения кинематической и циклической погрешностей зубчатых колес и передач применяют импульсный метод измерения с использованием магнитных шкал и растровых решеток.

Рассмотрим принцип работы прибора УКМ-5, основанного на магнитоэлектрическом разностном методе измерения. Прибор работает при непрерывном однопрофильном зацеплении с измерительным червяком.

На валу измерительного червяка 5 (рис. 3), приводимого в движение электроприводом 6, установлен диск 3 с никелекобальтовым покрытием, на котором записаны магнитоэлектрические импульсы. Эти импульсы считываются с помощью магнитной головки 4, связанной с электронно-измерительным устройством. Измерительный червяк сопрягается с контролируемым зубчатым колесом 7. Номинальное межосевое расстояние сопряженной пары устанавливается по оптической шкале и отчетному микроскопу. На одной оси 2 с контролируемым колесом 7 расположен двухдорожечный диск 8, который вращается одновременно с зубчатым колесом. Магнитные импульсы, считываемые головкой 4 с диска 3, переписываются магнитными головками 1 и 9 одновременно на две дорожки диска 8. Рассогласование сигналов с дисков 4 и 8 пропорционально кинематической погрешности зубчатого колеса. Прибор, изготовленный в НИИТавтопроме, снабжен анализирующей и регистрирующей аппаратурой, позволяющей осуществлять гармонический анализ составляющих кинематической погрешности: циклическая погрешность записывается прибором в виде спектра частот, составляющих кинематическую погрешность.

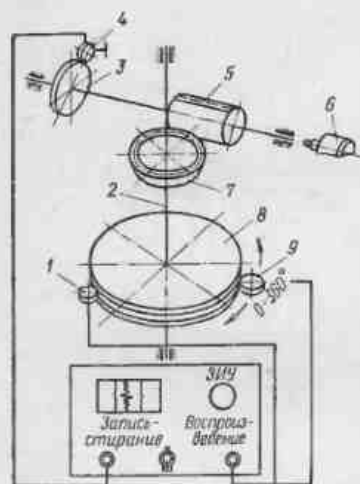


Рис. 3. Принципиальная схема прибора УКМ-5

Поэтому в массовом и крупносерийном производствах зубчатые колеса проверяют часто в плотном двухпрофильном зацеплении с измерительным зубчатым колесом на приборах, называемых межцентромерами. Распространение этого вида контроля объясняется также сравнительной простотой конструкции межцентромеров и высокой производимостью контроля. Такой контроль позволяет выявить колебание измерительного межосевого расстояния (относительно его номинального значения) за оборот проверяемого колеса  $F_{lr}$  и при повороте на один зуб  $f_{lr}$ . При этом контроле можно устанавливать отклонение толщины зуба или смещение исходного контура. Двухпрофильную проверку колес обычно дополняют контролем колебания длины общей нормали  $F_{GW}$  или контролем точности оборудования.

Двухпрофильный контроль легко автоматизируется. Поэтому в автоматических линиях изготовления зубчатых колес применяются полуавтоматы и автоматы для двухпрофильного контроля, выпускаемые заводом «Калибр» (БВ-8010А и БВ-80110В).

Приборы для комплексного двухпрофильного контроля (МЦМ-160, МЦМ-320М, МЦМ-400Б, БВ-5029) универсальны — позволяют контролировать колеса разных размеров, насадных и валковых, и снабжены

приспособлениями для проверки цилиндрических передач внешнего и внутреннего зацепления, конических и червячных передач.

На рис. 4 показан прибор типа МЦМ-400Б. На оправку 1, жестко связанную с подвижной измерительной кареткой 2, насаживают измерительное колесо, а на оправку 6, жестко связанную с неподвижным суппортом 5, — проверяемое колесо. Измерительная каретка 2 под действием пружины 4 прижимает измерительное колесо к проверяемому, создавая плотное зацепление. При совместном вращении колес колебания измерительного межосевого расстояния отмечаются индика-

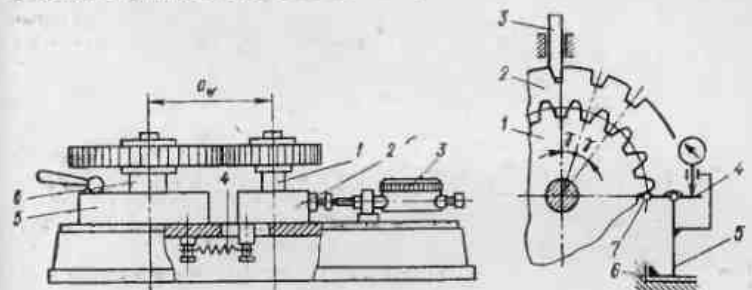


Рис. 4. Прибор МЦМ-400Б для комплексной проверки цилиндрических зубчатых колес

Рис. 5. Схема углового шагомера для контроля накопленной погрешности шага

тором 3 или установленным вместо него индуктивным преобразователем, связанным с самописцем. Номинальное межосевое расстояние  $a_{нв}$  устанавливают при помощи концевых мер, располагаемых между оправками 1 и 6, или при помощи специальных дисков, которые надевают на эти оправки.

**Контроль накопленной погрешности шага.** Если невозможно выполнить однопрофильную проверку, устанавливают накопленную погрешность  $k$  шагов  $F_{pk}$  или по зубчатому колесу  $F_{Dr}$ . Накопленная погрешность шага (углового) может быть определена по результатам проверки равномерности шага по всему колесу. В этом случае накопленную погрешность определяют путем соответствующей обработки результатов последовательного измерения шагов и построения диаграммы [20].

Непосредственно накопленная погрешность шага может быть определена при последовательном измерении угловых шагов колеса при помощи универсальных приборов для угловых измерений — теодолитов, оптических делительных головок и т. п.

Принципиальная схема углового шагомера показана на рис. 5. Проверяемое колесо 1 устанавливают соосно с угловым лимбом 2 и фиксируют в этом положении фиксатором 3. Измерительный наконечник 7 рычага 4, на который опирается индикатор, приводят в соприкосновение с профилем зуба колеса, и его радиальное положение фиксируют упором 6. Индикатор устанавливают на нуль. Затем при помощи каретки 5 наконечник 7 отводят и зубчатое колесо последовательно поворачивают от зуба к зубу по всей окружности на величину углового шага ( $\gamma = 360^\circ/z$ ). При помощи этого прибора измеряют отклонения углового шага от его теоретической величины. Сумма наибольших



положительного и отрицательного отклонений угловых шагов, полученных при измерении этого параметра по всей окружности колеса, составляет накопленную погрешность окружного шага в угловых величинах.

Контроль радиального биения зубчатого венца. Радиальное биение зубчатого венца проверяют с помощью приборов, называемых биение-

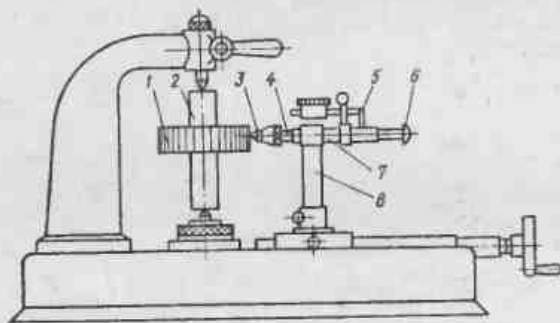


Рис. 6. Схема биеннметра

мерами (рис. 6). Измерительный наконечник может иметь форму: зуба рейки, выполненного по исходному контуру, усеченного конуса с углом при вершине  $2\alpha$ , седлообразного наконечника, имеющего профиль впадины зуба рейки или форму сферического наконечника. Наконечник должен касаться поверхности двух соседних зубьев по постоянной хорде впадины.

Проверяемое зубчатое колесо 1 насаживают на оправку 2. Наконечник 3 на измерительном стержне 4 перемещается под действием пружины в направляющей втулке 7 и прикрепленной к нему плавкой 5 воздействует на наконечник индикатора 6. Измерения производят путем последовательного ввода наконечника 3 во все впадины колеса.

Разность между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора при поочередном перемещении наконечника во все впадины колеса определяет радиальное биение зубчатого венца.

Рис. 7. Зубомерный микрометр

Контроль колебания длины общей нормали. Контроль колебания длины общей нормали  $F_{\Sigma W_T}$  можно производить зубомерными микрометрами (рис. 7), индикаторными нормалемерами (рис. 8) и другими средствами.

Индикаторный нормалемер (рис. 8) снабжен трубкой 1, по которой перемещается разрезная втулка 2, жестко соединенная с переставной измерительной губкой 3. Подвижная измерительная губка 4 перемещается на плоских пружинах 5 параллельно оси трубки 1. Это перемещение передается индикатору 7 через угловой рычаг 6 с соотношением

плеч 2 : 1. При цене деления индикатора 0,01 мм цена деления нормалемера равна 0,005 мм.

Колебание длины общей нормали  $F_{\Sigma W_T}$  находят как разность между наибольшей и наименьшей действительными длинами общей нормали при последовательном измерении всех групп зубьев проверяемого колеса.

Средняя длина общей нормали  $W_m$  определяется как средняя арифметическая всех действительных длин общих нормалей по зубчатому колесу.

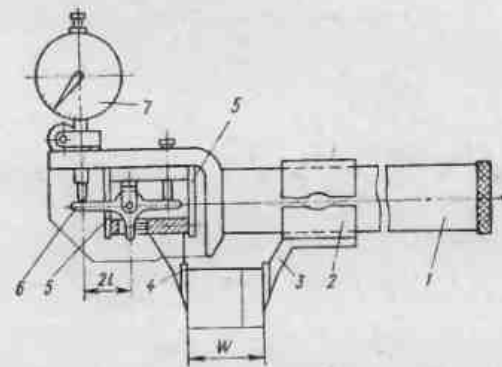


Рис. 8. Индикаторный нормалемер

Контроль погрешности обката. В налаженном производстве применяют профилактические методы контроля всех составляющих технологического процесса: станка, приспособления, инструмента, детали. Это позволяет упростить контроль зубчатых колес, ограничиваясь проверкой радиального биения зубчатого венца. Для контроля погрешности обката в промышленности применяют кинематометры. Принцип работы этих приборов аналогичен приборам для комплексного однопрофильного контроля. Приборы отличаются по способу создания образцового движения. Так, в приборе МЭК-2 образцовое движение задается с помощью магнитоэлектрической записи, а в приборе КН-6М — с помощью стеклянных дисков со штрихами (растров). Высокочастотные составляющие кинематической погрешности зубообрабатывающих станков выявляются с помощью сейсмических преобразователей.

#### 4. КОНТРОЛЬ ПЛАВНОСТИ РАБОТЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ

Для определения показателей плавности работы зубчатых колес и передач  $I_{zk0r}$ ,  $I_{zk1r}$ ,  $f_{z0r}$ ,  $f_{1r}$  применяют приборы для комплексного однопрофильного контроля, позволяющие производить запись кинематического процесса и его гармонический анализ. Кроме того, для широких косозубых колес характерна циклическая погрешность, которую можно определять волномером. В приборе БВ-5024 отсчет показаний осуще-

стается головкой с ценой деления 0,001 мм. В приборе БВ-5024С применяется индуктивное устройство, позволяющее производить запись погрешности. Волномер устанавливают во впадине между зубьями колеса на сменные сферические опоры, погрешность при его перемещении вдоль зуба воспринимается измерительным наконечником.

**Контроль отклонения шага зацепления.** Отклонение шага зацепления от номинального измеряют с помощью шагомеров.

Рассмотрим шагомер Ленинградского инструментального завода (ЛИЗ) с тангенциальными наконечниками (рис. 9). Измерительный

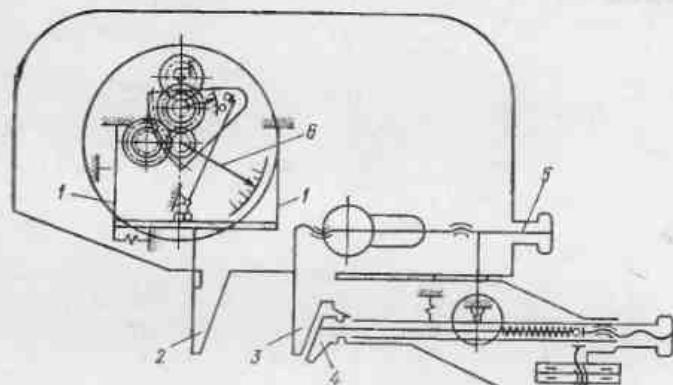


Рис. 9. Схема шагомера

наконечник 2 подвешен на плоских пружинах 1, его перемещение фиксируется отсчетным устройством 6 с ценой деления 0,001 мм. Второй измерительный наконечник 3 можно устанавливать в нужном положении винтом 5. Опорный наконечник 4 поддерживает прибор при измерении и обеспечивает расположение линии измерения по нормали к профилям. Наконечники 2 и 3 со стороны измерительных поверхностей армированы твердым сплавом. Шагомер настраивают по блоку концевых мер, размер которых равен номинальному значению основного шага.

**Контроль профиля зубьев колес.** Проверка профиля зубьев в торцовом сечении заключается в сопоставлении действительного эвольвентного профиля с его теоретической формой. Для этого применяют приборы, называемые эвольвентомерами.

Рассмотрим принцип действия индивидуально-дискового эвольвентомера БВ-1089 (рис. 10). Проверяемое зубчатое колесо 2 устанавливают на одной оси со сменным диском 1, диаметр которого равен диаметру основной окружности колеса. Этот диск прижимается пружинной к доведенной обкатывающей линейке 3, закрепленной на каретке 6 прибора. При перемещении каретки ходовым винтом 5 движение (без скольжения) передается диску и вместе с ним проверяемому колесу. При этом каждая точка рабочей плоскости линейки описывает относительно диска эвольвенту. Над линейкой в одной вертикальной плоскости с ее рабочей поверхностью расположен измерительный наконечник

рычага 4, другое плечо которого соприкасается с наконечником индикатора 8. По шкале 9 определяют угол развернутости проверяемого колеса, а по шкале 7 — смещение каретки из исходного положения, при котором измерительный наконечник касается профиля зуба на радиусе основной окружности колеса.

В начале измерения измерительный наконечник рычага устанавливают на боковую поверхность зуба у его основания, а индикатор на нуль. Вращая ходовой винт, перемещают каретку, причем измерительный наконечник рычага скользит по профилю зуба, и в случае отклонения его от эвольвенты заданной основной окружности получает угловое перемещение, отмечаемое индикатором. По окончании измерения одного зуба каретка возвращается в исходное положение, а колесо переставляется на один зуб.

Эвольвентомеры снабжаются записывающими механизмами, регистрирующими результаты измерения в увеличенном масштабе. В этих приборах для каждого размера колеса требуется специальный сменный диск. Более совершенными являются универсальные эвольвентомеры, настраиваемые с помощью шкал или концевых мер для контроля колес с различными диаметрами основных окружностей.

Результаты измерения отклонений шага зацепления  $f_{pr}$ , погрешности профиля  $f_{pr}$  и колебания измерительного межосевого расстояния на одном зубе  $f_{lr}$  дают представление о плавности работы прямозубых колес.

## 5. КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛНОТЫ КОНТАКТА ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

**Контроль пятна контакта.** Качество контакта поверхностей зубьев можно определять либо непосредственно в собранной передаче, либо на контрольно-обкатных станках или специальных стендах при зацеплении с измерительным колесом. Контрольно-обкатные станки для конических передач, выпускаемые Саратовским станкостроительным заводом, позволяют контролировать и цилиндрические зубчатые колеса. Для контроля пятна контакта боковую поверхность меньшего или измерительного колеса покрывают слоем краски толщиной не более 4—6 мкм и производят обкатку колес при номинальном межосевом расстоянии. В качестве красителя применяют свинцовый сурик, берлинскую лазурь (смесь раствора хлорного железа и раствора желтой кровяной соли), турубулеву синь (смесь раствора двухвалентного железа с раствором красной кровяной соли). Краску наносят на предварительно обезжиренную поверхность зубьев тампоном из плотной ткани.

Контроль погрешности направления зуба, погрешности контактной линии, отклонения осевого шага. Контроль точности хода винто-

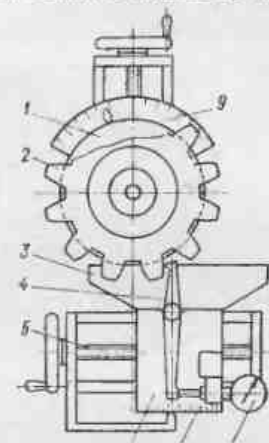


Рис. 10. Схема индивидуально-дискового эвольвентомера

вой линии проводят для узких косозубых колес при помощи ходомера, принцип действия показан на рис. 11. Измерительный суппорт 1 с наконечником 2 совершает относительное движение по винтовой линии, лежащей на цилиндре, ось которого совпадает с осью зубчатого колеса. Измерительный суппорт 1 перемещается поступательно, параллельно оси колеса, а колесо поворачивается вокруг своей оси. Дополнительные движения наконечника 2, контактирующего с поверхностью зуба, отмечаются индикатором 3. Прибор настраивают по ходу винтовой линии при помощи точного образца с тем же ходом (в ходомерах с универсальной настройкой — по блоку концевых мер или круговому лимбу).

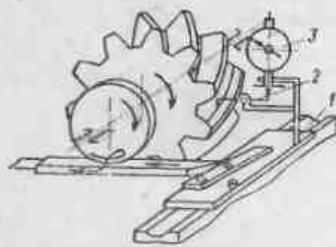


Рис. 11. Схема ходомера

Универсальный контактомер БВ-5028 (ЧИЗ) позволяет определить суммарную погрешность контактной линии  $F_{\Sigma}$  цилиндрических зубчатых колес с модулем от 1 до 10 мм, диаметром делительной окружности от 20 до 400 мм (наибольшая длина контактной линии 200 мм, наибольший угол  $\pm 45^\circ$ ). Этот прибор позволяет с помощью дополнительных приспособлений контролировать также накопленную погрешность на  $k$  шагах  $F_{prt}$  и по колесу  $F_{pr}$ , отклонения осевых шагов  $F_{\Sigma \text{ос}}$  (при ширине зубчатого венца до 200 мм) и радиального биения  $F_{rr}$ . Промышленностью освоено выпуск универсального контактомера БВ-5055 (модуль контролируемых колес от 1 до 8 мм, диаметр до 320 мм). Контроль отклонений осевого шага  $F_{\Sigma \text{ос}}$  может производиться специальными приборами (по ГОСТ 5368—73) или непосредственно на зубошевниговальном станке, например мод. 5706, выпускаемом Коломенским заводом тяжелого станкостроения.

## 6. КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БОКОВОГО ЗАЗОРА В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ

**Контроль бокового зазора.** Боковой зазор  $i_{\text{б}}$  в собранной передаче контролируют с помощью щупа, свинцовой пластинки или с помощью специальных приспособлений со стрелочными отсчетными устройствами.

**Контроль смещения исходного контура.** Контроль смещения исходного контура осуществляют с помощью зубомера смещения (тангенциального зубомера), показанного на рис. 12. Плоскости двух измерительных губок 1 и 2, каждая из которых наклонена под углом  $\alpha = 20^\circ$ , воспроизводят совместно с касательной  $bb$  в окружности выступов номинальный исходный контур зубчатой рейки (рис. 12, а).

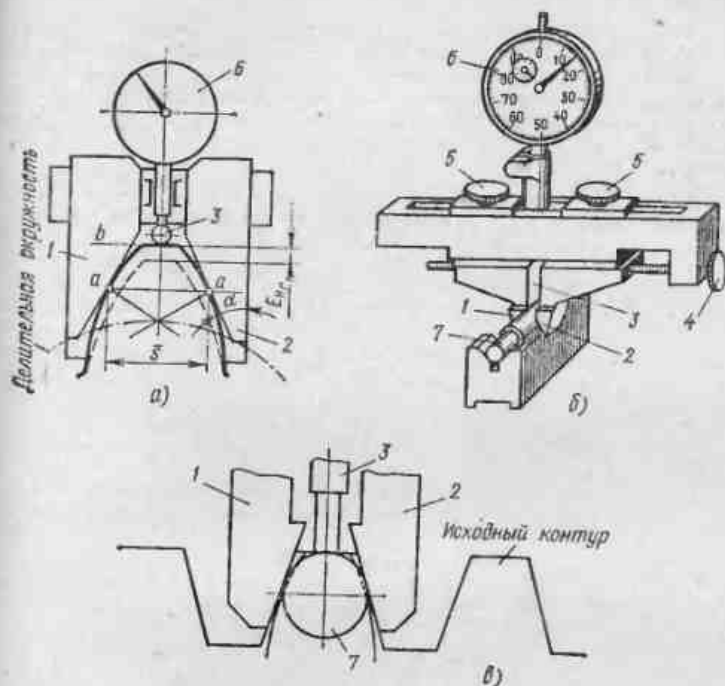


Рис. 12. Зубомер смещения

Расстояние между измерительными губками 1 и 2 может изменяться винтом 4 (рис. 12, б), имеющим на одном конце правую, а на другом — левую резьбы. Предварительно зубомер устанавливается в номинальное положение исходного контура по ролику 7 (см. также рис. 12, в), диаметр которого определяется модулем контролируемого колеса. В требуемом положении губки закрепляют винтами 5. Если положение действительного контура (штриховая линия на рис. 12, а) не совпадает с номинальным, то по положению наконечника 3 индикатора 6 можно судить о величине смещения исходного контура.

Допуск на смещение исходного контура  $T_H$  в стандарте рассчитан для случая измерения этого смещения на базе рабочей оси колеса. Измерение же тангенциальным зубомером производится на базе паружного цилиндра зубчатого колеса. Поэтому с целью компенсации радиального биения окружности выступов зубчатого колеса  $F_{da}$  необходимо вводить производственные допуски, т. е. наименьшее дополнительное смещение исходного контура, и допуск на это смещение определять по формулам

$$E_{Hs \text{ гр}} = E_{Hs} + 0,35F_{da} \quad (1)$$

$$T_{H \text{ гр}} = T_H - 0,7F_{da} - |0,5E_{dat}|_i \quad (2)$$

где  $E_{dal}$  — нижнее предельное отклонение наружного диаметра заготовки (верхнее отклонение равно нулю).

Пример. Найдем производственные величины  $E_{Hs}$  пр и  $T_{H}$  пр для зубчатого колеса  $z_2 = 60$ , передачи 8—7—6В с параметрами  $m = 5$ ,  $a_{dw} = 200$  мм,  $z_2 = 20$ . Диаметр делительной окружности равен  $d = mz = 5 \cdot 60 = 300$  мм. По табл. 10 гл. 10 находим  $E_{Hs} = -230$  мкм. Радиальное биение зубчатого венца  $F_{rr} = 71$  мкм (табл. 2, гл. 10), тогда  $T_H = 200$  мкм (табл. 11, гл. 10). В случае серийного производства колес предполагаем, что диаметр заготовки выполнен по полю допуска h8 (СТ СЭВ 144—75), т. е.  $E_{dal} = -81$  мкм,  $F_{da}$  не должно превышать 0,257  $H_7$ , т. е. 50 мкм [14]. По формулам (1) и (2) получим  $E_{Hs}$  пр = -247,5 мкм;  $T_H$  пр = 124,5 мкм.

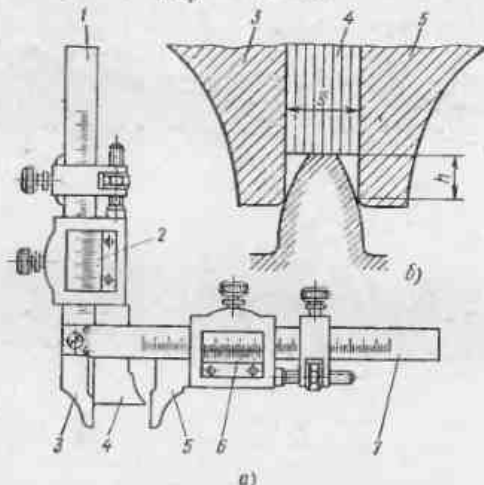


Рис. 13. Хордовый зубомер

Смещение исходного контура может быть определено также с помощью станковых приборов, например универсальных зубоизмерительных приборов и биенмеров.

Контроль толщины зубьев по хорде. Толщину зуба по постоянной хорде измеряют хордовым зубомером (штангензубомером), а также при помощи роликов. Штангензубомер имеет две взаимно перпендикулярные шкалы 1 и 7 (рис. 13, а): одну для определения высоты  $h$ , а другую для измерения длины постоянной хорды  $S$ . Перед измерением упор 4 устанавливают по нониусу 2 на размер, равный высоте  $h$ , на которой предполагается измерять длину хорды  $S$  зуба, и закрепляют в этом положении. Измерительные губки 3 и 5 после установки штангензубомера упором 4 на окружность выступов контролируемого колеса сдвигают до соприкосновения с профилями зуба.

Длину измеряемой хорды  $S$  отсчитывают непосредственно по нониусу 6 штангензубомера. Измерения рекомендуются производить по постоянной хорде зуба (хорде между точками касания исходного контура с обоими профилями зуба в нормальном сечении). Определение

номинальной толщины зуба  $\bar{S}$  (рис. 13, б) и высоты  $h$  до постоянной хорды производят по заранее составленным таблицам этих величин или расчетом по формулам [14].

При контроле размера по роликам наименьшее отклонение  $E_{Ms}$  и допуск  $T_M$  определяют расчетом величин  $E_{Wms}$  и  $T_{Wm}$  по формулам: наименьшее отклонение размера по роликам

$$E_{Ms} \approx \frac{E_{Wms}}{\sin \alpha_D \cos \beta_b}$$

и допуск на размер по роликам

$$T_M \approx \frac{T_{Wm}}{\sin \alpha_D \cos \beta_b},$$

где  $\alpha_D$  — угол профиля в точке на концентрической окружности зубчатого колеса, проходящей через центр ролика, определяется при геометрическом расчете размера по роликам;  $\beta_b$  — угол наклона зуба на основном цилиндре.

## 7. КОНТРОЛЬ ЧЕРВЯЧНЫХ КОЛЕС, ЧЕРВЯКОВ И ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

Кинематическая  $F'_{ir}$  и циклическая  $f_{hkr}$  погрешности червячного колеса определяются при однопрофильной обкатке контролируемого червячного колеса с измерительным червяком. Накопленная погрешность шага по червячному колесу  $F_{Dr}$  и радиальное биение червячного колеса  $F_{rr}$  могут быть определены так же, как у цилиндрических зубчатых колес, с помощью универсальных зубоизмерительных приборов. Измерение этих показателей производится в среднем сечении колеса.

В двухпрофильном зацеплении контролируемого червячного колеса с измерительным червяком контролируются колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса  $F'_{ir}$  и на одном зубе  $f'_{ir}$ . Для этого к межцентромерам МЦМ-160 и МЦМ-320М выпускают специальные приспособления. Схема измерения  $F'_{ir}$  и  $f'_{ir}$  на межцентромерах представлена на рис. 14. Приспособление позволяет совместить ось образцового червяка со средней плоскостью проверяемого червячного колеса. Плавню вращая червяк 3 и тем самым приводя в движение червячное колесо 2, с помощью отсчетного приспособления 1 или самописца определяют колебание измерительного межосевого расстояния за полный оборот колеса  $F'_{ir}$  и за оборот колеса на один зуб  $f'_{ir}$ .

Погрешности винтовой линии червяка в пределах оборота  $f_{hr}$  и на всей длине нарезанной части червяка  $f_{hkr}$  измеряют с помощью приборов, принцип действия которых основан на сравнении контролируемой винтовой линии с образцовой, получаемой от измерительного червяка с ходом витка  $P_x$ , равным контролируемому червяку, либо с теоретической винтовой линией, создаваемой кинематической схемой измерительного прибора. По такой схеме работает прибор БВ-1025 для контроля червячных мелко модульных фрез. Этот прибор, выпускаемый ЧИЗ, предназначен для контроля червяков и червячных фрез модулем от 0,3 до 2 мм, диаметром от 20 до 100 мм.

Погрешности винтовой линии червяка  $f_{lv}$  и  $f_{lvz}$  может быть выявлена также с помощью других приборов, предназначенных для контроля червячных фрез, например приборами БВ-5005 и 19 295. Первый прибор предназначен для контроля червяков и червячных фрез модулем от 1 до 20 мм и диаметром от 40 до 250 мм, второй — для поэлементного контроля червячных фрез модулем от 2 до 20 мм и диаметром от 40 до 250 мм.

Отклонения шага червяка  $f_{pvt}$  и накопленную погрешность  $k$  шагов червяка  $f_{pvtz}$  измеряют на приборах мод. 19295 и на универсальном контактомере БВ-5028 с помощью специального приспособления. Отклонение шага червяков с небольшим углом подъема может быть произведено и на универсальном измерительном микроскопе с помощью измерительных ножей, а при больших углах подъема — с помощью

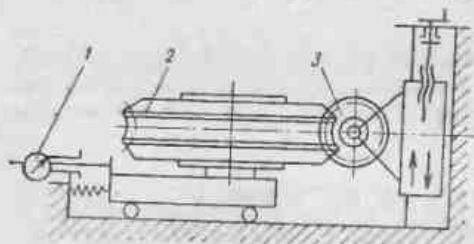


Рис. 14. Схема измерения червячных колес на межцентровом приспособлении

контактного приспособления НЗО-2. Измерение шага червяка рекомендуется производить по обеим сторонам профиля. За действительное отклонение шага  $f_{pvt}$  берут наибольшее среднее отклонение по обеим сторонам профиля, полученное при измерении отдельных шагов по всей длине червяка, или наибольшую погрешность при повороте червяка на один номинальный угловой шаг (при однозаходном червяке — на один оборот).

Профили архимедовых ЗА и эвольвентных ZI червяков можно проверить на приборах, специально предназначенных для измерения червячных фрез (прибор 19295). Измерительный узел этих приборов смонтирован на каретках, которые можно устанавливать и перемещать под углом профиля червяка параллельно прямолинейной части профиля контролируемого червяка.

Угол профиля архимедовых и конволотных червяков в нормальном сечении  $\alpha_n$  можно проверить на универсальном измерительном микроскопе с помощью измерительных ножей.

Радиальное биение червяка  $f_{rr}$  определяют как наибольшую в пределах оборота разность расстояний от его рабочей оси до постоянной жорды впадины в нормальном ее сечении. Проверку этого показателя точности можно осуществлять на универсальном измерительном микроскопе с помощью специального индикаторного приспособления, которое крепится к основанию микроскопа. Контролируемый червяк устанавливают в центрах микроскопа; сферический наконечник индикаторного приспособления вводят во впадину червяка. При вращении контролируемого червяка в центрах наконечник, перемещаясь по винтовой впадине червяка, фиксирует радиальное биение. За величину  $f_{rr}$  принимают наибольшую разность показаний стрелки индикаторного устройства. Для многозаходных червяков радиальное биение определяют для каждого витка отдельно.

Толщину витков червяка определяют прямым методом с помощью измерительных микроскопов или зубомера, а также косвенным методом — с помощью калиброванных проволоочек или роликов [20].

Методика измерения толщины витка червяка зубомером смещения такая же, как для цилиндрических косозубых колес.

Измерение кинематической  $F'_{zkr}$  и циклической  $f_{zkr}$  погрешностей, а также циклической погрешности зубцовой частоты в передаче  $f_{zkr}$  осуществляют непосредственно в корпусе передачи измерительными средствами, с помощью которых производят измерение аналогичных показателей у цилиндрических зубчатых колес.

Отклонения межосевого расстояния  $f_{ar}$  и межосевого угла  $f_{\Sigma r}$  передачи, а также смещение средней плоскости  $f_{sr}$  определяют проверкой базовых поверхностей корпуса, в котором червячная передача будет собрана.

Червячная передача по своим конструктивным особенностям весьма чувствительна к неточностям сборки. В связи с этим сборку и монтаж червячной передачи следует выполнять особенно тщательно.

Контроль суммарного пятна контакта производят в собранной передаче для определения качества монтажа. Метод контроля тот же, что и при проверке цилиндрических колес. Червяк покрывают краской и по пятнам краски, полученным на червячном колесе, судят о характере контакта.

Боковой зазор червячной передачи можно определить по углу свободного поворота червяка при заторможенном червячном колесе. Для проверки бокового зазора применяют и свинцовые проволоочки, которые укладывают между контактирующими зубьями и после поворота передачи измеряют по толщине микрометром.

Погрешность обката червячного колеса  $F_{cr}$  определяют как составляющую кинематической погрешности червячного колеса при вращении его на технологической оси, под которой понимают ось, вокруг которой колесо вращается в процессе окончательной его обработки. При этом необходимо исключить циклические погрешности, частота которых равна числу зубьев червячного колеса, деленному на число заходов червяка, и кратных ей более высоким частот. Этот показатель, характеризующий кинематическую точность червячной делительной передачи зуборезного станка, на котором нарезается червячное колесо, может быть выявлен контролем кинематической погрешности станка.

## 8. ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ДЕТАЛЕЙ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Контроль элементов шпоночных соединений в массовом и серийном производствах осуществляют предельными калибрами: пластинами для проверки ширины паза (рис. 15, а); пробками со ступенчатой шпоной (рис. 15, б) для проверки паза втулки по размеру  $d + t_0$  (см. гл. 11); кольцами, имеющими стержень с проходной и непроходной ступенями (рис. 15, в) для проверки глубины паза  $t_1$  на валу. Симметричность паза относительно осевой плоскости проверяют у отверстия пробкой со шпоной (рис. 15, г), а у вала — при помощи накладной приемы с контрольным стержнем (рис. 15, д) [3, 9].

Контроль точности шлицевых соединений. Шлицевые соединения, как правило, контролируют комплексными проходными калибрами.

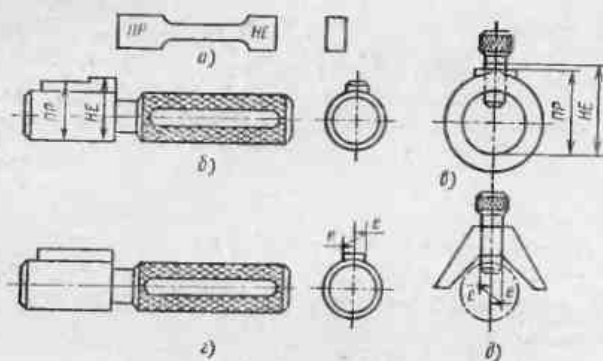


Рис. 15. Калибры для контроля деталей шпоночного соединения

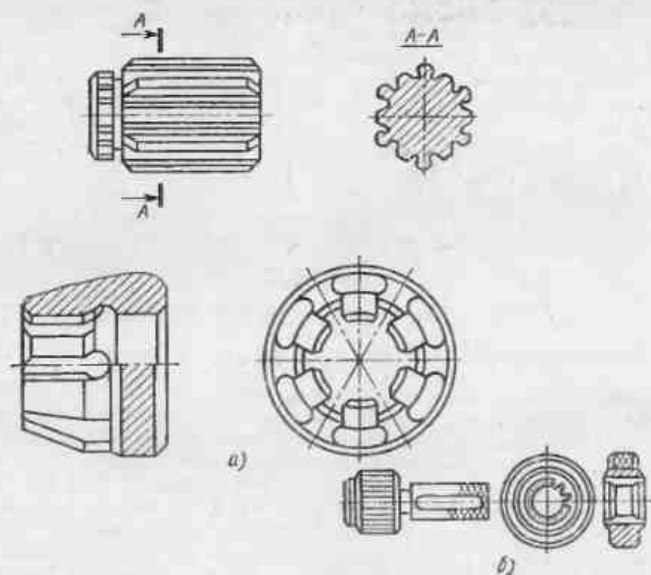


Рис. 16. Комплексные шлицевые калибры

При этом поэлементный контроль осуществляют непроходными калибрами или измерительными приборами. В спорных случаях контроль с применением комплексного калибра является решающим.

При использовании комплексных калибров отверстие считают годным, если комплексный калибр-пробка проходит, а диаметры и ширина паза не выходят за установленные верхние пределы; вал считают годным, если комплексный калибр-кольцо проходит, а диаметры и толщина зуба не выходят за установленные нижние пределы.

Расположение полей допусков диаметров и размеры пазов, формулы для определения размеров рабочей части калибров и допуски калибров для контроля шлицевых прямобоочных соединений регламентированы СТ СЭВ 355—76. Стандарт предусматривает поля допусков на износ калибров, а также устанавливает допусковую накопленную погрешность шага зубьев (впадин) калибров, допуск симметричности и допуск параллельности плоскости симметрии зуба (паза) калибра. Калибры для контроля шлицевых прямобоочных соединений показаны на рис. 16, а, а для контроля эвольвентных соединений — на рис. 16, б.

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

### 1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

[по ГОСТ 15895—77 (СТ СЭВ 547—77)]

**Единица продукции** — отдельный экземпляр штучной продукции или определенное в установленном порядке количество нештучной или штучной продукции (завершенной или незавершенной, находящейся в процессе изготовления, добывания или ремонта).

**Контролируемая партия продукции** — предназначенная для контроля совокупность единиц продукции одного наименования, типоминимала или типоразмера и исполнения, произведенная в течение определенного интервала времени в одних и тех же условиях.

**Объем партии** — число единиц продукции, составляющих партию.

**Поток продукции** — продукция одного наименования, типоминимала или типоразмера и исполнения, находящаяся в движении на технологической линии.

**Выборка** — изделие или определенная совокупность изделий, отобранных для контроля из партии или потока продукции (в завершенном или незавершенном производстве, в том числе заготовки).

**Объем выборки** — число изделий, составляющих выборку.

**Мгновенная выборка** — выборка из потока продукции, которую составляют изделия, произведенные последними к моменту отбора в течение достаточно короткого интервала времени.

**Период отбора** — интервал времени между моментами отбора смежных выборок или проб из потока продукции.

**Выборочный контроль** — контроль, при котором решение о качестве контролируемой продукции принимают по результатам проверки одной или нескольких выборок или проб из партии или потока продукции.

**Контроль по количественному признаку** — контроль качества продукции, в ходе которого определяют значения одного или нескольких ее параметров, а последующее решение о контролируемой совокупности принимают в зависимости от этих значений.

**Контроль по качественному признаку** — контроль качества продукции, в ходе которого каждую проверенную единицу относят к определенной группе, а последующее решение о контролируемой совокупности принимают в зависимости от соотношения чисел ее единиц, оказавшихся в разных группах.

**Контроль по альтернативному признаку** — контроль по качественному признаку, в ходе которого каждую проверенную единицу продукции относят к категории годных или дефектных, а последующее решение о контролируемой совокупности принимают в зависимости от числа обнаруженных в выборке или пробе дефектных единиц продукции или числа дефектов, приходящихся на определенное число единиц продукции.

**Статистическое регулирование технологического процесса** — корректирование значений параметров технологического процесса по результатам выборочного контроля параметров производимой продукции, осуществляемое для технологического обеспечения требуемого уровня ее качества. Выборочный контроль для статистического регулирования технологического процесса осуществляют при помощи точечных проб или мгновенных выборок.

**Точность технологического процесса** — свойство технологического процесса, обуславливающее соотношение действительных и номинальных значений параметров производимой продукции.

**Стабильность технологического процесса** — свойство технологического процесса, обуславливающее постоянство параметров точности в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне.

**Статистически управляемый процесс** — технологический процесс, поддающийся статистическому регулированию, в результате чего значения параметров продукции имеют только случайные отклонения.

**Статистический анализ точности технологического процесса** — оценивание статистическими методами значений показателей точности технологического процесса и определение закономерностей его протекания во времени.

**Метод группировки** — метод статистического регулирования технологического процесса, характеризующийся тем, что о разладке процесса судят по распределению отметок, соответствующих значениям выборочной характеристики в определенных зонах контрольной карты.

**Метод учета дефектов** — метод статистического регулирования технологического процесса, характеризующийся тем, что о разладке процесса судят по числу дефектов или дефектных единиц производимой продукции в выборках или пробах.

**Метод средних арифметических** — метод статистического регулирования технологического процесса, характеризующийся тем, что о разладке процесса судят по выборочным средним арифметическим контролируемых параметров.

**Метод медиан** — метод статистического регулирования технологического процесса, характеризующийся тем, что о разладке процесса судят по выборочным медианам контролируемых параметров.

**Метод средних квадратических отклонений** — метод статистического регулирования технологического процесса, характеризующийся тем, что о разладке процесса судят по выборочным средним квадратическим отклонениям контролируемых параметров.

**Метод размахов** — метод статистического регулирования технологического процесса, характеризующийся тем, что о разладке процесса судят по выборочным размахам контролируемых параметров.

**Метод средних размахов** — метод статистического регулирования технологического процесса, характеризующийся тем, что о разладке процесса судят по средним размахам контролируемых параметров, полученным в результате осреднения размахов нескольких выборок.

**Метод крайних значений** — метод статистического регулирования технологического процесса, характеризующийся тем, что о разладке процесса судят по наибольшему и (или) наименьшему значениям контролируемых параметров в выборках или пробах.

**Метод кумулятивных сумм** — метод статистического регулирования технологического процесса, характеризующийся тем, что о разладке

процесса судят по результатам проверки серии выборок или проб, определяя суммы значений выборочной характеристики контролируемого параметра по мере накопления этих значений.

**Точностная диаграмма** — графическое изображение зависимости от времени одного или нескольких показателей точности технологического процесса. Эмпирическую точностную диаграмму строят на основе исследования существующего процесса. Теоретическую точностную диаграмму строят на основании статистических расчетов для прогнозирования точности технологического процесса.

**Контрольная карта** — карта, на которой для наглядности отображения состояния технологического процесса отмечают значения соответствующей регулируемой выборочной характеристики смежных выборок или проб.

**Граница регулирования** — линия на контрольной карте, ограничивающая область значений регулируемой выборочной характеристики, соответствующая удовлетворительной наладке технологического процесса.

**Статистический приемочный контроль качества продукции** — выборочный контроль качества продукции, основанный на применении методов математической статистики для проверки соответствия качества продукции установленным требованиям.

**Доля дефектных единиц продукции** — отношение числа дефектных единиц продукции к общему числу единиц продукции (выражается в процентах).

**Уровень дефектности** — доля дефектных единиц продукции или число дефектов на сто единиц продукции.

**Решающее правило** — указание, предназначенное для принятия решения относительно приемки партии продукции по результатам ее контроля.

**План контроля** — совокупность данных о виде контроля, объемах контролируемой партии продукции, выборок или проб, о контрольных нормативах и решающих правилах.

**Схема статистического приемочного контроля** — полный комплект планов статистического приемочного контроля в сочетании с совокупностью правил применения этих планов.

## 2. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

В современной технологии различают три процесса контроля качества выпускаемой продукции, основанных на использовании теории вероятностей и математической статистики:

- 1) статистический приемочный контроль качества продукции;
- 2) статистический анализ точности технологического процесса;
- 3) статистическое регулирование технологического процесса.

**Статистический приемочный контроль качества продукции** применяют в тех случаях, когда проведение 100%-ного контроля всех изделий, предъявляемых в контролируемой партии продукции, трудно осуществить из-за большой массовости партии или невозможно осуществить из-за того, что проведение контроля связано с разрушением единиц продукции и в то же время известно, что доля дефектных единиц продукции в партии достаточно мала. По выполнению такой контроль

является выборочным. Из большой партии продукции берут одну или несколько случайных выборок, результаты измерения которых обрабатывают методами математической статистики.

Объем выборки и приемочное число характеризуют план контроля, согласно которому устанавливают приемочное и браковочное числа.

Приемочное число является критерием для приемки партии продукции, равным максимальному числу дефектных единиц в выборке или пробе в случае статистического приемочного контроля по альтернативному признаку или соответствующему предельному значению контролируемого параметра в выборке или пробе в случае статистического приемочного контроля по количественному признаку.

**Браковочное число** является критерием для забраковки партии продукции, равным минимальному числу дефектных единиц в выборке или пробе в случае статистического приемочного контроля по альтернативному признаку или соответствующему предельному значению контролируемого параметра в выборке или пробе в случае статистического приемочного контроля по количественному признаку.

**Решающее правило**, заранее установленное, применяют для принятия решения относительно приемки или отклонения партии продукции по результатам ее контроля. Для принятия решения относительно приемки или отклонения партии продукции может быть предусмотрена определенная совокупность решающих правил.

**Последующая оценка** служит для установления входного и выходного уровней дефектности, эффективности принятого плана контроля. По ней принимают решение о целесообразности корректирования плана контроля. Эту величину вычисляют как функцию результатов статистического приемочного контроля нескольких партий продукции.

**Статистический анализ точности технологического процесса** служит для выявления факторов, снижающих его точность.

Методика решения таких задач при помощи статистического анализа сводится к следующему:

- планирование исследования, в частности, определение объемов выборок и метода их получения;
  - формулирование математико-статистического описания, создание модели;
  - описание параметров, относящихся к модели, и определение выборочных распределений для этих оценок;
  - изучение согласия между моделью и наблюдениями;
  - решение задачи оцениванием исследуемых параметров и принятие мер в зависимости от результатов исследования.
- Наиболее распространенными методами статистического анализа точности технологического процесса являются сравнение средних; сравнение дисперсий; оценка коэффициента корреляции; регрессионный анализ; дисперсионный анализ; анализ временных рядов и случайных последовательностей.

**Метод сравнения средних** применяют в тех случаях, когда необходимо установить соответствие изготовленного изделия эталонному образцу или когда требуется сравнить значения одноименных показателей качества у двух или более групп изделий.

**Метод сравнения дисперсий** применяют, когда требуется оценить изменчивость показателей качества (их рассеяние) в зависимости от способа обработки, оборудования или других факторов.



Коэффициент корреляции оценивают, когда надо проверить степень зависимости одного показателя качества от другого или в других подобных случаях.

Регрессионный анализ применяют, когда требуется оценить показатель качества по результатам наблюдений над другими показателями.

Дисперсионный анализ применяют, когда требуется оценить влияние тех или иных факторов на исследуемый показатель качества.

Статистическое регулирование технологического процесса направлено на предотвращение появления брака при изготовлении партии продукции. Такой контроль можно отнести к активным методам контроля. Выполняют его многими методами, имеющими свои области применения, а также свои преимущества и недостатки.

При применении метода группировки контрольные карты должны иметь не только внешние границы, но также и внутренние (предупреждающие), что увеличивает чувствительность к разладке контролируемого технологического процесса. При регулировании процесса посредством двустороннего критерия применяют пять групп качества, при регулировании процесса посредством одностороннего критерия применяют три группы качества.

При применении метода учета дефектов нужно учитывать характер технологического процесса. Так, например, при статистическом регулировании сварочных процессов качество шва оценивается по числу дефектов на единице длины, при статистическом регулировании технологических процессов производства стекла и оптических деталей показателем качества является число дефектов на единице площади, при статистическом регулировании технологических процессов штамповки изделий качество штамповки определяют по числу дефектных деталей в выборке и т. д.

В технологических процессах, формирующих заданный показатель качества (например, размер изделия при механической обработке, твердость термически обработанной поверхности при термообработке металлических изделий, процент содержания примесей при производстве химикатов и т. д.), применяют метод средних арифметических или метод медиан, поскольку математическое ожидание показателя качества с течением времени меняет свое положение. Это приводит к тому, что в некоторый момент времени процесс должен быть подвигнут вналадку, чтобы избежать изготовления бракованных изделий.

При методе средних арифметических оценкой показателя качества служит выборочное среднее арифметическое

$$\bar{X} = \frac{1}{n} (X_1 + X_2 + \dots + X_n),$$

где  $X_1, X_2, \dots, X_n$  — результаты выборочных наблюдений;  $n$  — объем выборки.

При методе медиан оценкой показателя качества является выборочная медиана  $\bar{X}$ .

Среднее арифметическое  $\bar{X}$  в среднем дает более точную оценку неизвестному значению искомого параметра, чем медиана  $\bar{X}$ . Объем выборки при применении метода медиан в среднем должен быть в 1,5 раза больше, чем при применении метода средних арифметических для

достижения той же точности при определении оценок, но для определения средних арифметических требуется проведение более сложных вычислений.

В технологических процессах, характеризующихся возрастающим во времени рассеянием, применяют метод средних квадратических отклонений, метод размахов, метод крайних значений.

Мерой рассеяния является генеральное среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ . Для начального момента времени, т. е. сразу после наладки процесса, оно принимает минимальное значение  $\sigma_0$ . При  $\sigma = \sigma_1$ , установленном нормативно-технической документацией, процесс должен быть налажен до получения равенства  $\sigma = \sigma_0$ .

Значение  $\sigma$  неизвестно и оценивается по результатам наблюдений  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , где  $n$  — объем выборки.

При методе средних квадратических отклонений определяют выборочное среднее квадратическое отклонение по формуле

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \approx \sigma,$$

$$\text{где } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i.$$

На контрольную карту наносят значения выборочных средних квадратических отклонений последовательных выборок  $S_1, S_2, \dots$ . Выход точки  $S_m$  за границу регулирования на контрольной карте указывает на то, что процесс разлажен, и требуется корректировка.

При методе размахов величину  $\sigma$  оценивают по размаху  $R = X_{\max} - X_{\min}$ , который определяют как разность между максимальным и минимальным результатами наблюдений в выборке.

На контрольную карту наносят значения выборочных размахов последовательных выборок  $R_1, R_2, \dots$ . Выход точки  $R_m$  за границу регулирования на контрольной карте дает основание считать, что  $\sigma \geq \sigma_1$ , т. е. процесс считается разлаженным (требуется корректировка).

При методе крайних значений величину  $\sigma$  оценивают по крайним значениям  $X_{\max}$  и  $X_{\min}$  в выборке, наносимым на контрольную карту. При выходе крайнего значения за границы регулирования процесс считают разлаженным и проводят его корректировку.

Выборочное среднее квадратическое отклонение дает более точную оценку параметра  $\sigma$ , чем выборочный размах или крайние значения, но при этом усложняются расчеты. Точность метода средних квадратических отклонений с увеличением объема выборки повышается, а точность метода размахов понижается. При  $n \geq 10$  метод размахов применять не рекомендуется, его целесообразно заменять методом средних размахов.

## АВТОМАТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ

### 1. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ

По степени автоматизации процесса средства контроля размеров могут быть разделены на:

автоматизированные приспособления (обычно светофорного типа), у которых операция загрузки и, как правило, операция съема осуществляются вручную и измерительное средство сигнализирует о результатах контроля;

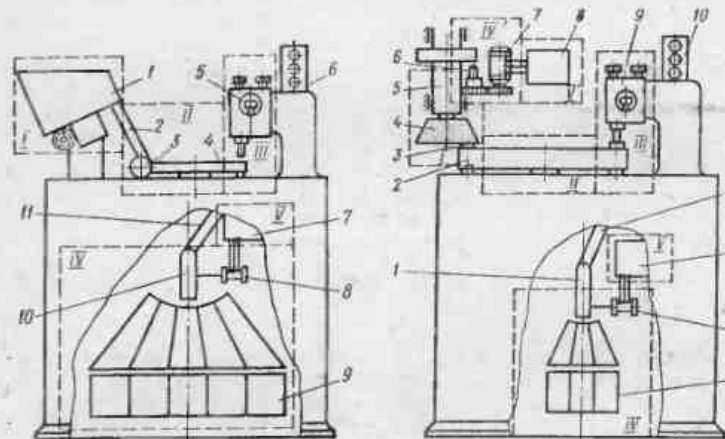


Рис. 1. Конструктивная схема контрольной системы для пассивного контроля; 1 — загрузочный бункер; 2 — первичный лоток; 3 — отсекающий; 4 — транспортирующий механизм; 5 — первичный преобразователь (датчик); 6 — светофорное табло; 7 — запоминающе-усилительный блок; 8 — блок перевода рукава; 9 — отсеки; 10 — рассортировывающий рукав; 11 — вторичный лоток. Основные органы контрольных систем: I — загрузочный; II — транспортирующий; III — измерительный; IV — исполнительный; V — запоминающе-усилительный

Рис. 2. Конструктивная схема автоматического подналадчика для активного контроля;

1 — рукав; 2 — транспортирующий механизм; 3 — деталь; 4 — шлифовальный круг; 5 — шпindel; 6 — упор; 7 — электроиндикатор; 8 и 12 — запоминающе-усилительные блоки; 9 — первичный преобразователь; 10 — табло; 11 — вторичный лоток; 13 — блок перевода рукава; 14 — отсеки; основные органы: I — обработки; транспортирующий II, измерительный III, два исполнительных IV и IV', два запоминающе-усилительных V и V'. Загрузочный орган установлен на станке

полуавтоматические системы, у которых операция загрузки осуществляется вручную, а все остальное — автоматически; автоматические системы, у которых весь цикл работы автоматизирован;

самонастраивающиеся системы, у которых автоматизирован цикл настройки.

По воздействию на технологический процесс с автоматические средства контроля размеров можно разделить на: пассивные контрольные средства, осуществляющие лишь рассортировку деталей на группы в зависимости от результатов контроля (рис. 1);

активные контрольные средства, которые при определенном изменении контролируемой величины автоматически изменяют ход технологического процесса и обеспечивают заданную точность обработки (рис. 2 и 3).

По способу преобразования измерительного импульса автоматические контрольные средства делят на механические, пневматические, гидравлические и электрические.

Принцип действия во многих конструкциях автоматических контрольных устройств основан на различном сочетании перечисленных средств преобразования измерительного импульса.

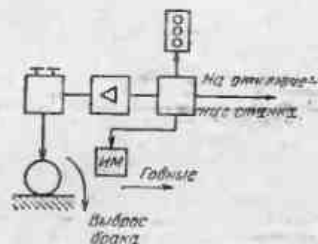


Рис. 3. Схема защитного устройства

### 2. ТРАНСПОРТИРУЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОНТРОЛЬНЫХ СИСТЕМ

Различают транспортирующие механизмы, предназначенные для перемещения изделия от загрузочного устройства или зоны обработки до измерительной позиции, от измерительной позиции до исполнительного устройства и от него до соответствующего приемника. В зависимости от характера движения изделия транспортирующие механизмы можно разделить на механизмы с прерывистым и непрерывным движением. Кроме того, различают устройства со свободным и принудительным движением изделия. В зависимости от формы пути детали различают транспортирующие механизмы с движением изделия по прямой, по окружности и по сложной траектории, обычно состоящей из отрезков прямых или дуг окружностей.

Цикл работы транспортирующего механизма с прерывистым перемещением детали, если все операции осуществляются последовательно, можно подсчитать по формуле

$$T = t_3 + t_4 + t_k + t_c + t_n + t_0,$$

где  $t_3$  — время загрузки детали;  $t_4$  — время установки ее на измерительную позицию;  $t_k$  — время контроля;  $t_c$  — время съема детали с измерительной позиции;  $t_n$  — время выброса детали;  $t_0$  — время обратного хода транспортирующего механизма.

Системы с параллельно работающими позициями загрузки, контроля и выброса имеют значительно большую производительность. В этом случае цикл работы будет состоять из двух элементов (времени движения  $t_d$  и времени покоя  $t_0$ ):

$$T = t_d + t_0.$$

При этом время покоя будет определяться временем работы наиболее загруженной позиции (например, выброса).

Наиболее простым из транспортирующих механизмов является механизм с совмещенными этапами процесса транспортирования и установки деталей (рис. 4). Их привод часто осуществляется от кулачковых механизмов, позволяющих сравнительно легко получить необходимый закон перемещения толкателя при малых габаритах и простой кинематической схеме.

От кулачка 1, закрепленного на распределительном валу, через рычаг 3 возвратно-поступательное движение передается толкателю 5. При совпадении отверстия пинцета 7 с окном толкателя (в крайнем правом его положении) контролируемая деталь западает в толкатель и под действием пружины 2 перемещается на измерительную позицию.

Рис. 4. Транспортирующий механизм с совмещенными этапами процесса транспортирования и установки изделий

Целесообразно выполнять кулачковые приводы таким образом, чтобы рабочее перемещение толкателя производилось под действием пружины, а возврат на позицию западания — под действием кулачка. Переместив деталь к измерительной станции 6, рычаг с толкателем останавливается на регулируемом упоре 8, и кулачок при последующем движении отрывается от ролика 9 рычага 3. В результате этого вращения движущегося привода в момент измерения не передаются на толкатель с контролируемой деталью, и, кроме того, детали при измерении останавливаются каждый раз в одном и том же положении, что снижает погрешности измерения.

Выброс измеренной детали может происходить при ходе толкателя назад, в конце хода толкателя вперед или при его ходе последующей деталью. В первом случае при ходе толкателя вперед заслонка 4 поднимается вверх, а при ходе назад опущена для выброса детали; измерение производится при остановке толкателя. Во втором случае кулачок должен иметь две ступени с рабочим участком, т. е. измерение производится без остановки толкателя с деталью. В третьем случае применяют толкатель открытого типа, сброс детали с измерительной позиции производится следующей деталью, для фиксации же детали в заданном месте в конструкции измерительной станции имеется подружженный упор. Во всех трех случаях западание детали происходит при остановке толкателя.

Механизмы с движением изделия по окружности могут быть выполнены в виде дисков или цилиндров, имеющих вертикальную или

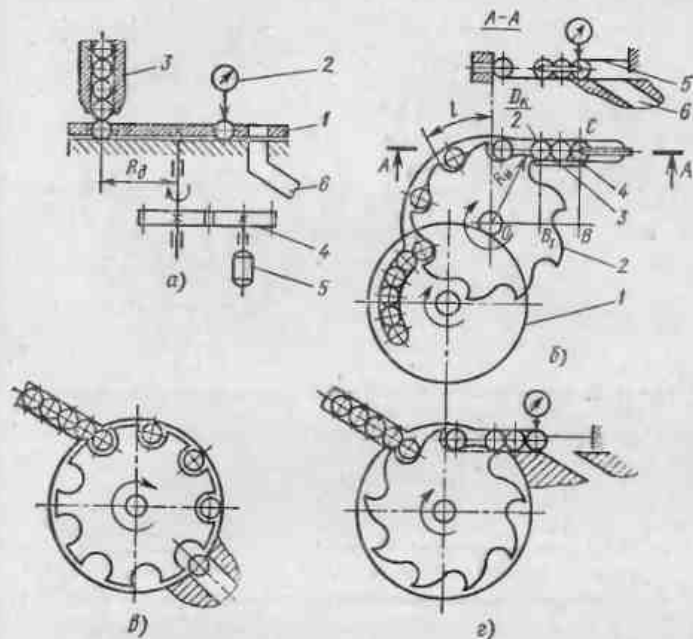


Рис. 5. Транспортирующие механизмы с движением изделий по окружности

горизонтальную ось вращения. Диски периодически поворачиваются на нужный угол от мальтийского или храпового механизма.

Дисковые устройства могут транспортировать детали непрерывно (рис. 5, б и в) и прерывисто (рис. 5, б и а). На рис. 5, б и г показаны схемы механизмов с непрерывным вращением диска, но прерывистым перемещением деталей. Фрикционный пинцет 1 подает детали к диску 2, который перемещает их к ножу 3 и далее по лотку 4 к измерительной позиции. Между измерительной позицией (точка В) и точкой В<sub>1</sub>, предопределяемой моментом отрыва детали от транспортирующего диска, должно укладываться целое число деталей. Деталь после измерения притормаживает фиксатор 5 и выталкивается очередной деталью в рукав 6.

Весьма перспективными являются транспортирующие механизмы с перемещением изделия по циклоидальным кривым. При этом обеспечивается безударное захватывание детали в исходной позиции, безударная фиксация на измерительной позиции и остановка на этой позиции на некоторый период времени, что позволяет достигнуть значительной производительности контроля.

На рис. 5 приведены схемы устройств с одним и двумя захватами. Деталь из исходной позиции 1 (рис. 6, а) передается в одну из последующих 3, 4, 5 рабочих позиций перемещением захвата по циклоидаль-

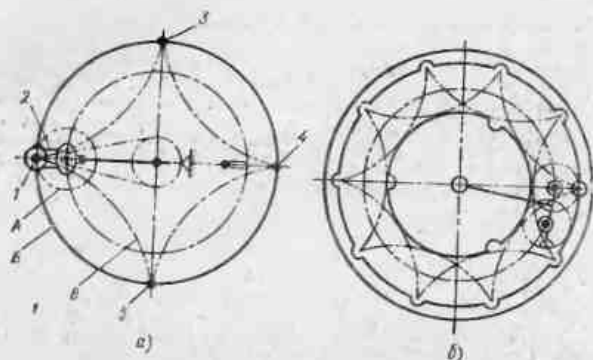


Рис. 6. Транспортирующий механизм с движением изделий по циклоидальным траекториям:

а — с одним захватом; б — с двумя захватами

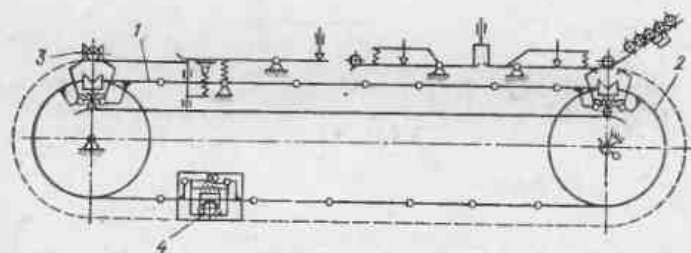


Рис. 7. Схема ленточно-цепного транспортера.

ной траектории В, образованной качением без скольжения условной окружности А по условной окружности В. При этом позиции загрузки и освобождения захвата 2 расположены в точках возврата циклоидальной кривой, в которых скорость захвата обращается в нуль, а ускорение благодаря кинематическим свойствам циклоидальной кривой изменяется плавно. Это обеспечивает безударную работу загрузочного устройства.

Большое распространение в контрольных автоматах и в особенности в контрольных линиях получают ленточно-цепные транспортеры, один из которых, применяемый в автомате ОКБ-Л103К1 для контроля поршневых пальцев, показан на рис. 7. Привод пластинчатой цепи 1 транспортера осуществляется через барабан 2 от храпового механизма. В конце хода верхнего прямолинейного участка детали попадают на измерительную позицию 3. Нижний прямолинейный участок используется для рассортировки изделий по группам качества. При этом изделия после разжатия губок 4 выпадают в приемники под действием собственного веса. Автомат снабжен системой автоматической сигнализации нарушения настройки.

Для транспортирования изделий широко применяют также лотки-скаты и лотки-склизы. Наиболее распространены лотки-скаты закрытого или открытого типа. Для снижения скорости, а также для движения детали с острыми коническими или закругленными торцами лотки выполняют иногда в виде змеек. Для значительного уменьшения усилия перемещения детали используют роликовые лотки.

### 3. УСТРОЙСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПОЗИЦИЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОНТРОЛЬНЫХ СИСТЕМ

В измерительную позицию входят:

- механизмы установки и съема изделия;
- закрепляющие механизмы для надежного крепления детали при измерении и плотного прижима к измерительной базе;
- арретирующие механизмы для предотвращения поломки измерительных наконечников при установке или съеме изделия;
- передаточные механизмы для передачи результатов измерения от контактной вставки, соприкасающейся с поверхностью детали, до измерительного наконечника и для удобства расположения датчика, суммирования результатов измерения и т. п.;

- узлы базирования и вращения детали на измерительной позиции, применяемые при контроле овальности, огранки, отклонений от соосности и т. п.;

- узлы продольного перемещения детали на измерительной позиции, применяемые при необходимости контроля отклонений от цилиндричности, от параллельности, от плоскостности и т. п.;

- узлы для крепления датчиков, передаточных и других механизмов измерительной позиции;

- измерительные узлы, создающие сигнал оценки контролируемой величины.

Механизмы установки и съема изделия в некоторых конструкциях одновременно выполняют роль закрепляющих элементов. В совмещенных механизмах устанавливающий элемент представляет собой также и транспортирующее устройство. В большинстве конструкций устанавливающий элемент имеет поступательно перемещающийся шток 1 (рис. 8), подающий деталь 4 с транспортирующего диска 5 к базовой поверхности 2 и наконечнику измерителя 3 и приводимый в действие через систему рычагов 7 от специального кулачка 6 распределительного вала. Иногда устанавливающий механизм имеет вид диска с горизонтальной или вертикальной осью вращения, устанавливающего детали после соответствующей технологической или контрольной операции под наконечник измерительного прибора.

Закрепляющие механизмы. В качестве закрепляющего элемента обычно служит шток, устанавливающий деталь на измерительную позицию (см. рис. 8), реже — специальный узел. В зависимости от способа закрепления детали эти элементы могут быть разделены на механические, пневматические, гидравлические, электромагнитные и электромеханические. Для автоматических контрольных устройств применяют в основном элементы двух типов — механические и электромагнитные. При помощи последних можно крепить ферромагнитные изделия. Они конструктивно просты, но не создают достаточно большого усилия зажима и имеют большие габаритные размеры. Кроме того,

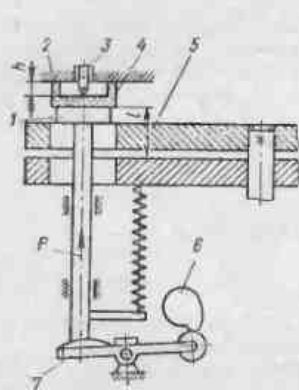


Рис. 8. Устанавливающий механизм с токовым датчиком:

$P$  — усилие прижима;  $l$  — величина перемещения штока

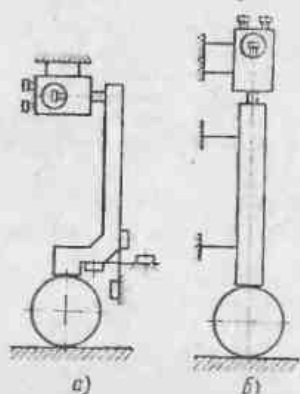


Рис. 9. Передаточные механизмы:

$a$  — рычажный;  $b$  — со штоком

после измерения требуется размагничивание детали, так как иначе к ней будут прилипать частицы металлической стружки, пыли и т. п.

Арретирующие элементы и передаточные механизмы. Арретирующие механизмы обычно имеют вид рычага, отводящего на величину свободного хода наконечник датчика. В некоторых случаях для создания большего хода перемещается корпус самого датчика. Основное требование к передаточным и арретирующим механизмам — сохранение высокой точности измерительной позиции.

Часто не представляется возможным или нежелательно располагать датчик вблизи контролируемой детали, тогда применяют передаточные механизмы, обычно выполняемые в виде рычагов (рис. 9,  $a$ ) или штоков (рис. 9,  $b$ ). Для устранения влияния износа на стабильность показаний прибора эти детали должны иметь пружинные опоры. Погрешности, которые возникают от передачи измерительного импульса при помощи штоков и рычагов, увеличиваются с ростом числа передаточных звеньев при неизменном общем передаточном отношении. Поэтому в большинстве устройств применяют лишь одно промежуточное звено — рычаг или шток.

Узлы базирования, вращения и перемещения детали. Для обеспечения легкости вращения деталь базируют на двух роликах, причем в качестве роликов часто применяют шарикоподшипники повышенной точности. При базировании по внутренней цилиндрической поверхности в качестве базы может использоваться только отверстие или отверстие в торце детали. Базирование по образующей отверстия применяют в том случае, когда нет необходимости в фиксировании положения действительной оси отверстия. В противном случае для устранения зазора между отверстием и базирующими элементами применяют различные приспособления с гидропластами, ступенчатыми или коническими оправками и т. п.

При контроле погрешностей формы валков вращение деталей легче всего осуществить, поместив их в центрах. Однако ввиду слож-

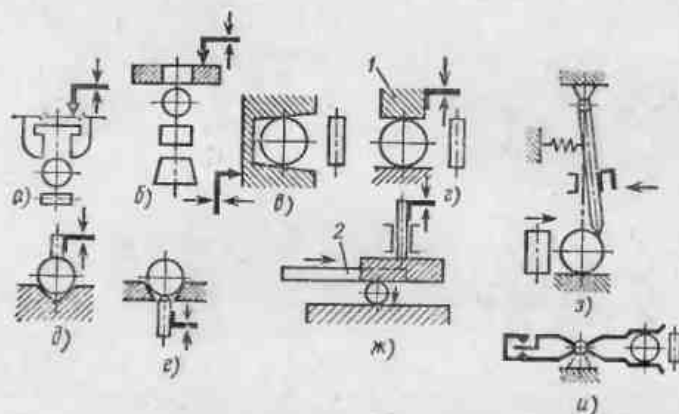


Рис. 10. Схемы контроля наружных диаметров и длин:

$a$  — калибр-скоба;  $b$  — калибр-кольцо;  $c$  — клиновидный калибр;  $d$  — плоская база с раздвижным калибром;  $e$  — призматические базы;  $ж$  — плоская база с пружиной планкой 2, поворачивающей изделие;  $з$  — качающийся рычаг;  $и$  — рычажная схема типа ножниц

ности ориентации деталей и влияния эксцентриситетов приходится применять другие базирующие и поворотные приспособления. Поворотные приспособления обычно имеют фрикционные или электромагнитные элементы. Фрикционные элементы выполняются либо в виде пружинящих пластинок (см. рис. 10,  $ж$ ), либо в виде фрикционных роликов.

Измерительный узел является важнейшим элементом автоматической системы, определяющим качество ее работы. Он должен обеспечивать высокую точность измерения, стабильность работы в течение продолжительного времени и быстродействие. Точность измерения определяется выбранным методом измерения, базируемыми элементами, передаточными механизмами, датчиками и механической или электрической схемой выбранного метода преобразования измерительного импульса. Стабильность работы определяется качеством конструкции и нечувствительностью измерительной системы к влиянию случайных факторов, т. е. к колебанию температуры, усилий, параметров электрической схемы, износу трущихся и соприкасающихся поверхностей, засорениям и т. п. Увеличение быстродействия системы не должно снижать точность контроля.

Контроль наружных диаметров может осуществляться при помощи различных калибров или приспособлений, величина перемещений которых оценивается механическим или электрическим путем (рис. 10). На механической или электрической основе построены системы с одним или несколькими рычагами. Схема типа ножниц (рис. 10,  $и$ ) обладает тем свойством, что перемещения изделия в вертикальном направлении часто не влияют на результаты контроля, поэтому такую схему целесообразно применять при контроле многоступенчатых валков и т. п.

На рис. 11 показаны схемы автоматического контроля наружных диаметров бесконтактными методами. При фотоэлектрическом методе

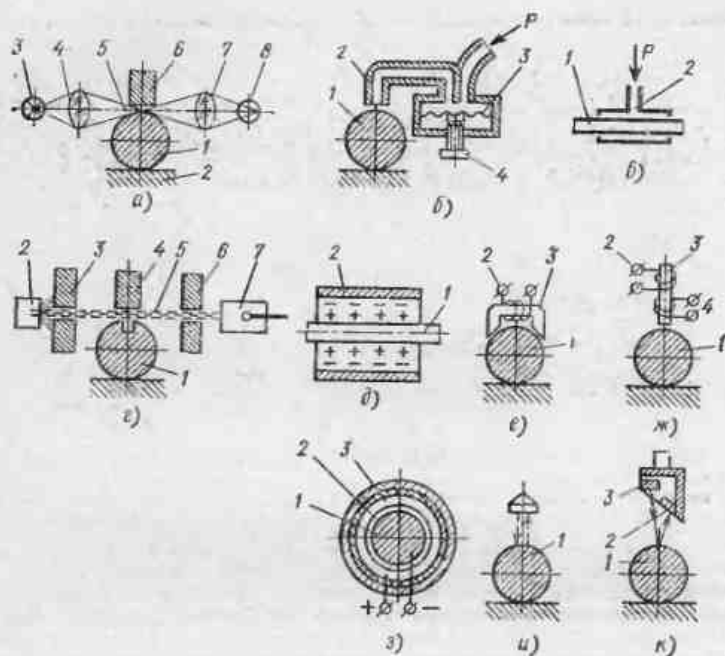


Рис. 11. Схемы контроля наружных диаметров бесконтактными методами

контроля (рис. 11, а) деталь 1 располагают между базой 2 и шторкой 6. Луч света от источника 3 проходит через конденсор 4, щель 5, объектив 7 и падает на фотозлемент 8. С изменением размера изменяется величина щели 5 и вместе с тем — световой поток, а следовательно, и сила тока, протекающего через фотозлемент. При пневматическом методе измерения (рис. 11, б) к детали 1 подводится сопло 2. В зависимости от изменения размеров детали меняется давление  $p$ , что вызывает перемещение диафрагмы 3 и замыкание и размыкание контакта 4. При этом на результатах контроля будет сказываться несоответствие кривизны торца сопла и поверхности детали. Большая точность измерения цилиндрических деталей может быть обеспечена схемой, показанной на рис. 11, в. В этом случае давление зависит от зазоров, образованных поверхностями детали 1 и двойного сопла 2. Схема контроля с помощью источника радиоактивных излучений (рис. 11, з) аналогична схеме с фотозлементом. В данном случае излучения идут от источника 2 через диафрагму 3, щель 5, диафрагму 6 и попадают в приемник 7 (например, ионизационную камеру). Сила тока, протекающего через камеру, служит мерой величины щели 5, образованной ножом 4 и деталью 1. Диаметр изделия может быть проконтролирован по методу емкости (рис. 11, д). В этом случае в качестве одной обкладки служит деталь 1,

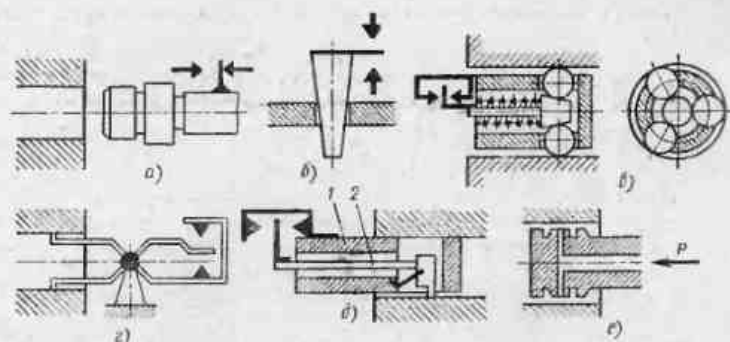


Рис. 12. Схемы контроля диаметров отверстий:

а — калибр-пробка; б — конусный калибр; в — обойма с тремя раздвижными шариками; г — схема зипа ножиц; д — палец 1 с рычагом 2; е — пневматическая пробка

а в качестве второй — кольцевой цилиндр 2. При изменении диаметра изменяется зазор между поверхностью изделия и цилиндром, что приводит к изменению емкости. Контроль диаметров стальных деталей может также осуществляться индуктивным методом (рис. 11, е). В этом случае магнитный поток наводится обмоткой 2, а в качестве магнитной цепи служит сердечник 3 и контролируемая деталь 1. По мере уменьшения размера изделия зазор между сердечником и изделием увеличивается, и ток, протекающий через обмотку, изменяется. При контроле нестальных металлических изделий может быть использован метод вихревых токов, наводимых в поверхностном слое обмоткой 4 (рис. 11, ж). Обмотка 2 служит для измерения потерь, идущих на вихревые токи и зависящих от расстояния между поверхностью детали 1 и сердечником 3. Контроль диаметра может осуществляться по величине коронного разряда, зависящего от кольцевого зазора 2 (рис. 11, з) между цилиндрическим отверстием электрода 2 и изделием 1. Для контроля размеров применяют ультразвуковые (рис. 11, и) и радиолокационные (рис. 11, к) приборы. В качестве источника излучений служит генерирующий контур 2, а в качестве приемного — контур 3 (рис. 11, и). Расстояние между источником излучения и контролируемой поверхностью детали измеряют, сравнивая отраженную волну с образцовой.

Контроль высот и толщин можно осуществлять так же, как и контроль наружных диаметров, по схемам с предельными калибрами, с клиновыми и раздвижными калибрами (см. рис. 10, а, в, г, з, и), с качающимся рычагом и по схеме типа ножиц, а также по схеме с криволинейным клиновым калибром. Для контроля высот приемлемы также все бесконтактные схемы контроля, аналогичные схемам контроля наружных диаметров (см. рис. 11).

Контроль диаметров отверстий можно осуществлять по схемам, приведенным на рис. 12.

Контроль отклонений от параллельности прямых, плоскостей от перпендикулярности торца к образующей цилиндра и отклонений от соосности можно осуществлять по схемам, показанным на рис. 13

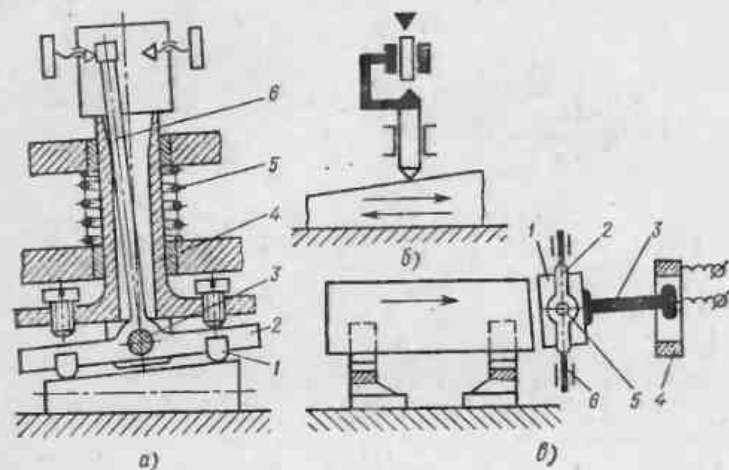


Рис. 13. Схемы контроля отклонений от параллельности и перпендикулярности

и 14. Два измерительных наконечника 1 (рис. 13, а) закреплены на качающемся коромысле 2, которое соединено со стержнем 4 посредством шарнира 3. Прижим наконечников к изделию осуществляется пружиной 5. Наклон стрелки 6 обусловлен отклонением от параллельности контролируемых поверхностей или прямых. На рис. 13, б показана схема контроля отклонений от параллельности при помощи амплитудного датчика с горизонтальным перемещением детали, а на рис. 13, в — схема контроля отклонений от перпендикулярности торца образующей цилиндра.

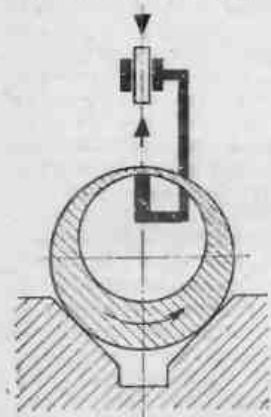


Рис. 14. Схема контроля отклонений от соосности

Деталь плотно прижимается к фланцу 1, подвешенному к корпусу при помощи рамки 2. Оси фланца 5 и рамки 6 взаимно перпендикулярны, поэтому контактный стержень 3 будет самоустанавливаться по плоскости торца проверяемой детали, и при предельном отклонении произойдет замыкание конца стержня с контактным кольцом 4, которое для возможности настройки часто выполняется с внутренней конической поверхностью.

На рис. 14 показан контроль отклонений от соосности наружной и внутренней поверхностей трубы с помощью амплитудного датчика.

Контроль отклонений возможен и с помощью дифференциальных схем, например, при помощи двух наконечников пружинно-рычажного датчика, двух сопл пневматического датчика, двух индуктивных дат-

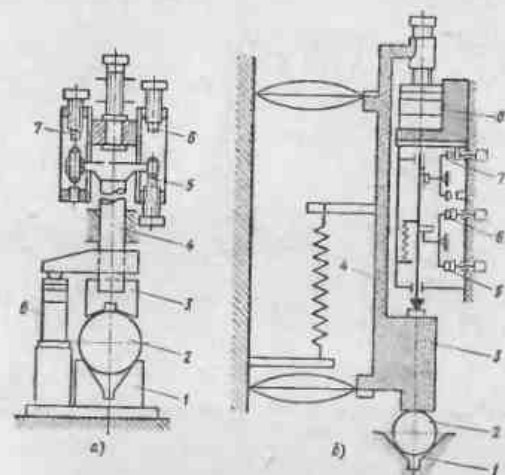


Рис. 15. Схема контроля диаметра и огранки: а — с параллельным расположением детали и блока концевых мер; б — с последовательным расположением

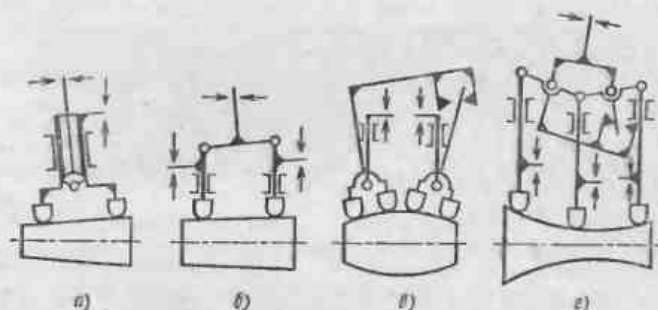


Рис. 16. Схемы одновременного контроля размеров и погрешностей формы:

а — среднего размера и конусообразности; б — двух размеров и конусообразности; в — двух размеров, конусообразности и выпуклости

чиков и т. п., а также бесконтактным методом с помощью радиоактивных излучений или, если невозможно ввести измеритель внутрь изделия, методом вихревых токов (для металлических изделий).

**Совмещение контрольных операций.** У многих контрольных систем на одной измерительной позиции контролируется несколько элементов (диаметры, длины, погрешности формы, элементы резьбы и т. д.). Совмещение контрольных операций позволяет упростить конструкцию транспортирующего механизма, число устанавливающих и исполни-

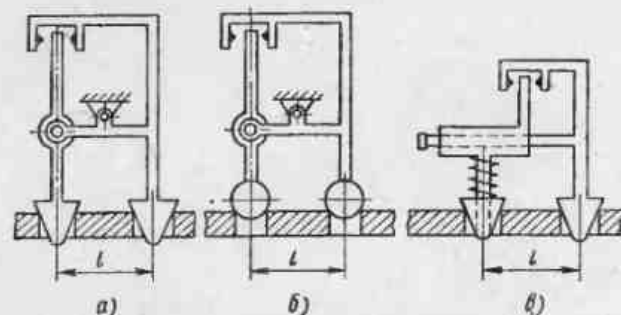


Рис. 17. Схемы контроля погрешностей межцентровых расстояний:  
а и б — с помощью качающегося рычага; а — с помощью поступательно перемещающейся втулки

тельных устройств и т. п. Однако совмещение контрольных операций усложняет измерительную позицию и уравнивает время их контроля. На рис. 15, а, б показана схема одновременного контроля размера и огранки независимо друг от друга. Деталь 2 располагается между базовой призмой 1 и измерительным наконечником 3, закрепленным на штоке 4. Контроль размера осуществляется с помощью контактов 5 и 6, а контроль огранки — с помощью фрикционного элемента и контакта 7. Настройку можно производить как по предельным образцам, так и с помощью одного образца и блока плиток 8.

Схемы контроля размеров и погрешностей формы в осевом сечении (отклонение от цилиндричности) показаны на рис. 16. Схемы контроля погрешностей межцентровых расстояний при помощи шариковых и конусных наконечников — на рис. 17.

#### 4. ДАТЧИКИ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Датчик служит для первичного преобразования линейной или угловой величины в иную, например электрическую, величину, удобную для управления исполнительными элементами. Датчик — это важнейший орган автоматической системы контроля, определяющий не только метод контроля, но и погрешность измерения, порог чувствительности, измерительное усилие, пределы измерений и другие важнейшие характеристики всей системы. Основными требованиями к датчикам являются высокая точность, или чувствительность, стабильность точности измерения, долговечность и надежность в работе, небольшие размеры и масса, малое измерительное усилие и его постоянство в пределах рабочего хода измерительного наконечника, малая чувствительность к вибрациям и ускорениям и достаточно большие пределы измерений. Кроме того, датчик должен обеспечивать возможность визуального отсчета измеряемой величины, возможность работы в статическом и динамическом режимах, должен обладать небольшой инерционностью. Степень соответствия всем перечисленным требованиям определяется величиной

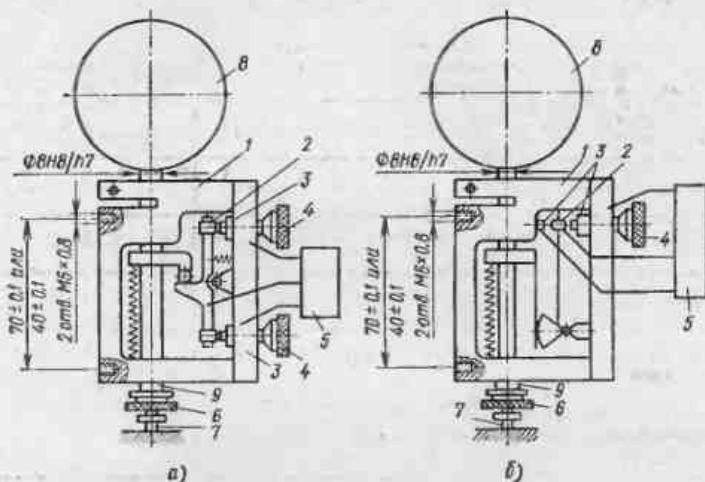


Рис. 18. Электроконтактные датчики:

1 — корпус; 2 и 3 — соответственно подвижные и неподвижные контакты; 4 — лимб настраиваемого винта; 5 — электроблок; 6 — микрометрическая подача; 7 — наконечник; 8 — отсчетное устройство; 9 — гильза

контролируемого параметра, его допуском, конфигурацией и материалом детали, условиями ее измерения и требованиями, предъявляемыми к контролю. Наибольшее распространение в промышленных условиях получили датчики электроконтактные, пневмоэлектроконтактные, фотоэлектрические, индуктивные, электронные (механотроны) и емкостные.

**Электроконтактные датчики.** Преобразование изменения контролируемой величины осуществляется путем замыкания (размыкания) электрических контактов цепей, управляющих исполнительными элементами системы. В качестве материалов контактов используется вольфрам, реже благородные металлы: платина, золото, серебро и их сплавы. Различают датчики двух видов: **предельные** — для контроля предельных размеров деталей (рис. 18, а) и **амплитудные** — для контроля величины амплитуды изменяющегося линейного параметра — отклонений формы, погрешности положения и т. п. (рис. 18, б). Датчики выполняются с обыкновенным, брызгозащищенным или пылезащищенным корпусом. Для крепления при эксплуатации датчики должны иметь на корпусе два резьбовых отверстия  $M5 \times 0,8$  мм, расположенных на расстоянии  $70 \pm 0,1$  мм, а у малогабаритных датчиков — на расстоянии  $40 \pm 0,1$  мм, либо гильзу 9 диаметром 8 или 14 мм или с предельными отклонениями по h8. В верхней части корпуса должно быть предусмотрено присоединительное отверстие под отсчетное устройство (с посадкой  $8H8/h7$ ). Измерительный наконечник выполняют сферическим сменным с резьбой  $M2,6 \times 0,45$  мм или с гладким стержнем  $\varnothing 5$  г 6.



## 1. Характеристики электроконтактных серийно выпускаемых предельных датчиков

Параметры	Тип датчика			
	228	229	233	ЭГР
Число контактных групп	2	3	2	2
Пределы измерения, мм	0—1	0—1	0—0,4	$\pm 0,05$
Свободный ход, мм	3	3	1,4	3
Цена деления (лимба настроечного винта), мкм	(2)	(2)	(1)	1
Нестабильность срабатывания (динамическая), мкм	1	1	0,5	—
Смещение настройки после 25 000 измерений, мм	$\pm 1$	$\pm 1$	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$
Погрешность настройки (статическая), мкм	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$
Измерительное усилие, Н	5	7	0,3—0,6	3
Габаритные размеры, мм	131×66× ×21	131×66× ×21	83×44× ×16	110×20× ×65
Масса, г	120	454	190	300

Примечание. Датчики типа 228, 229 и 233 изготавливает завод «Калибр», а ЭГР — завод КРИН (г. Киров, «Красный инструментальщик»).

В табл. 1 приведены характеристики серийно выпускаемых электроконтактных предельных датчиков. Датчик мод. 228 и малогабаритный датчик мод. 233 (рис. 19) предназначены для контроля линейных предельных размеров и используются в различных автоматических и светофорных средствах и устройствах активного контроля. Преобразователь мод. 229 в основном предназначен для средств активного контроля размеров, а датчик мод. 228 разработан для контроля размаха изменяющегося размера, в частности для контроля погрешностей геометрической формы или взаимного расположения поверхностей. Головка типа ЭГР предназначена для контроля предельных линейных размеров. Она имеет вид индикатора со встроенной шкалой.

Датчики завода «Калибр» в случае необходимости могут быть оснащены показывающими головками. Датчик завода КРИН имеет отсчет-

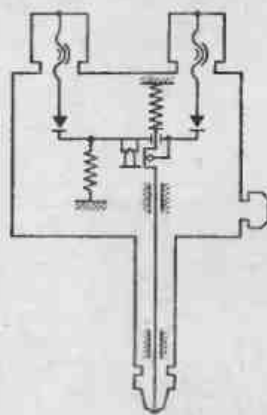


Рис. 19. Кинематическая схема электроконтактного двухпредельного малогабаритного датчика мод. 233

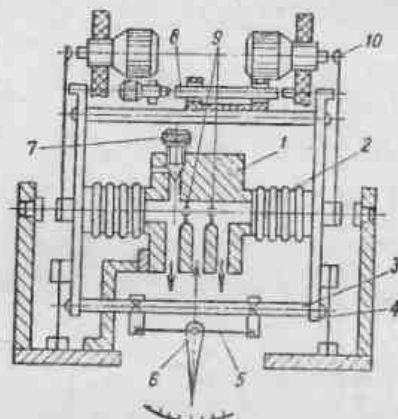


Рис. 20. Двухсильфонный датчик, действующий по дифференциальной схеме

ное устройство в виде индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм или 0,001 мм. Завод «Калибр» выпускает амплитудные электроконтактные датчики в нормальном исполнении и в малогабаритном пылезащитном исполнении.

Пневмоэлектроконтактные датчики. Эти преобразователи предназначены для автоматизации средств измерения линейных размеров, принцип действия которых пневматический. Измерение производится обычно методом сравнения с образцами. Преобразователи имеют шкалу, позволяющую наблюдать за величиной контролируемого параметра. Загрязненность воздуха, поступающего в преобразователь, не должна превышать значений 0-го класса (ГОСТ 17433—72). Воздух должен поступать от стабилизатора давления (ГОСТ 14682—79\*). Для усиления и фиксирования электрических сигналов рекомендуется использовать электронные реле мод. 238, 209, 220 и 237. В комплект преобразователей по заказам может входить измерительная оснастка в виде пневматических пробок мод. 347 и 334 (ГОСТ 14864—78), установочных колец мод. 346 (ГОСТ 14865—78), а также пневматических контактных датчиков мод. 302 или мод. 345 (бокового действия). Отдельно могут быть поставлены устройства подготовки воздуха: фильтры мод. 336/ФСВ6, стабилизаторы давления мод. 335/СВ6 и 338/СВ1.6 и блоки фильтра со стабилизатором давления мод. 337/ФСВ6 и 339/ФСВ6 1.6.

Преобразование изменения контролируемой величины осуществляется с помощью чувствительного элемента, реагирующего на изменение давления воздуха в камере прибора, и электрических контактов, связанных с этим элементом.

Датчики одного типа отличаются один от другого числом контактов и возможностью контроля амплитуды (например, погрешности формы) изменяющегося линейного параметра (табл. 2). В сильфонных датчиках (рис. 20) к корпусу распределителя 1 прикреплены сильфоны 2, свободные концы которых жестко соединены рамкой 3, 4, подвешенной на

2. Характеристики пневмоэлектронных датчиков, выпускаемых заводом «Калибр»

Параметры	Тип датчика					
	255	236	249	343	344 *	
Число контактных (амплитудных) групп	6	4 (1)	2	3 (1)	3 (1)	3 (1)
Число делений шкалы	±40	±40	±40	±40	±40	±40
Цена деления шкалы, мм	0,0002—0,002	0,0002—0,002	0,0002—0,002	0,0001—0,002	0,0002—0,002	0,0002—0,002
Рабочее давление, Н/см <sup>2</sup>	150±0,5	150±0,5	150±0,5	10—20 (1—2)	10—20 (1—2)	10—20 (1—2)
Погрешность срабатывания, мм вод. ст.	±10 (100)	±10 (100)	±10 (100)	7 (70)	7 (70)	15 (150)
Смещение настройки после 15 000 срабатываний, мм вод. ст.	10 (100)	10 (100)	10 (100)	3 (30)	3 (30)	7 (70)
Габаритные размеры, мм	132 X 102 X 100	132 X 102 X 100	132 X 102 X 100	150 X 135 X 130	176 X 120 X 118	
Масса, кг	2,03	1,94	1,92	4,22		2,65

\* Регулируется чувствительность.

пружинном параллелограмме и несущей подвижные предельные 10 или амплитудные 8 контакты. Кроме того, на рамке находится вит 5, петля которой накинута на диск стрелки 6 показывающего устройства. Распределитель имеет входные сопла 9 и сопло с винтом противозавращения 7.

Взаимодействие с контролируемой поверхностью в рассматриваемых датчиках может осуществляться либо бесконтактным способом, когда измерительное сопло располагается на определенном расстоянии от контролируемой поверхности, либо контактным, когда измерительное сопло взаимодействует с плоским, коническим, параболическим или другим элементом, связанным со штоком измерительного наконечника контактной головки.

Фотоэлектрические датчики типа ПФС (серийно выпускаемые заводом ЛИЗ) построены на базе пружинно-оптических головок (оптикаторов), но дополнительно снабжены фотосопротивлениями. У датчиков этого вида (рис. 21) измерительный шток 1 через рычаг 2 растягивает витую пружину 4 с наклеенным зеркальцем 3. Луч света, идущий от источника 5, отклоняется зеркальцем 3 и в виде светового пятна попадает частично на отсчетную шкалу, а частично на два или большее число фоторезисторов 6.

Следовательно, преобразователи предназначены как для визуального отсчета, так и для рассортировки изделий на размерные группы (табл. 3). Преобразователи этого типа выпускают четырех типоразмеров, но все они унифицированы на базе пружинно-оптической головки с использованием набора фоторезисторов. Применение фоторезисторов позволяет обойтись без электронных усилителей. По требованию заказчика могут дополнительно поставаться блоки-приставки для рассортировки на 10, 20, 30, 40 или 50 групп. Использование преобразователя с блок-приставкой уменьшает погрешность интервала сортировки на  $\frac{1}{3}$  деления шкалы.

Индуктивные датчики (табл. 4). Изменение контролируемой величины приводит к изменению индуктивности их катушек. В промышленности применяют главным образом дифференциальные датчики, содержащие две индуктивные катушки. При смещении якоря из нейтрального положения индуктивность одной из катушек убывает, а второй — возрастает. Кроме того, имеются датчики с изменяющимся воздушным зазором между якорем и торцом магнитного сердечника и датчики с изменяющейся площадью магнитопровода. Для включения датчиков в схемы автоматики используют мостовую самобалансирующуюся схему и схему Уолша.

На рис. 21 показаны схемы конструктивных разновидностей индуктивных датчиков, изготавливаемых заводом «Калибр» и основанных

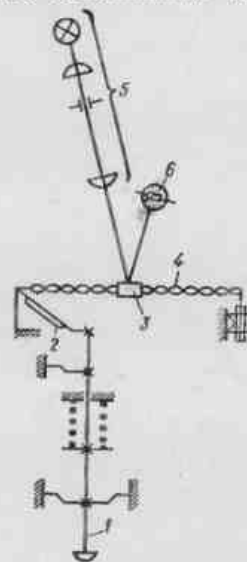


Рис. 21. Принципиальная схема фотоэлектрического преобразователя типа ПФС

## 3. Характеристики фотоэлектрических сортировочных преобразователей типа ПФС, выпускаемых заводом ЛНЗ

Параметры	Тип преобразователя			
	05ПФС	1ПФС	2ПФС	5ПФС
Интервал сортировки, мм	0,5	1	2	5
Цена деления шкалы, мм	0,5	1	2	5
Число рабочих групп сортировки	10	20	30	40 и 50

Примечание. Погрешность показателей по шкале составляет  $\frac{1}{8}$  деления шкалы, габариты 370×156×100 мм, а масса преобразователей — 1,8 кг.

## 4. Характеристики индуктивных преобразователей, выпускаемых заводом «Калибр»

Параметры	Тип преобразователя		
	222	223	234
Пределы измерения, мкм	1—25	60—120	до 150
Цена деления срабатывания, мкм	0,02—0,5	0,1—2	0,5—50
Нелинейность характеристики, %	0,5	0,5	0,5
Измерительное усилие, Н	500	250	900

на изменении площади магнитопровода (рис. 22, а) или на изменении зазоров между якорем и магнитопроводом (рис. 22, б). Датчики, построенные по дифференциальной схеме, имеют шток 1, якорь 2 и две обмотки 3. Более сложные виброконтактные датчики (Уральского политехнического института) имеют две различные обмотки, одна из которых сообщает якорю крутильные колебания, а вторая измеряет амплитуду этих колебаний, зависящую от положения контролируемой поверхности.

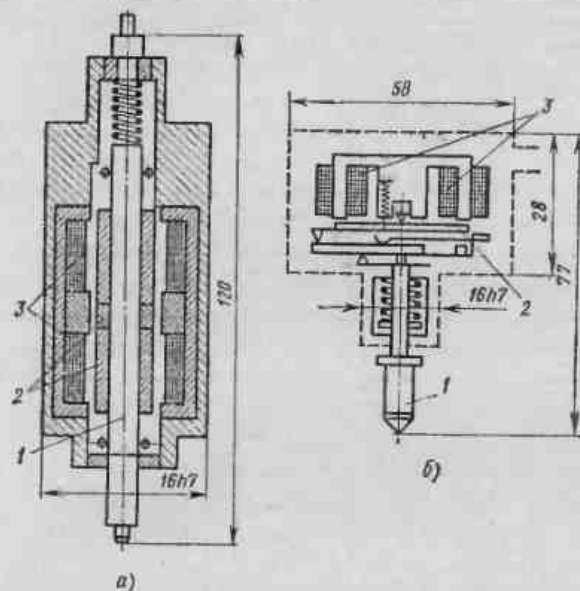


Рис. 22. Схемы индуктивных датчиков завода «Калибр»

Электронные датчики (механотроны). Изменение измеряемой величины в этих датчиках вызывает перемещение электродов (катода, анода, сетки и т. п.) внутри колбы, вследствие чего характеристики лампы меняются. Механотрон является первой усилительной лампой, и поэтому часто отсутствует необходимость последующего усиления.

На рис. 23 показана принципиальная схема двоядного механотрона типа 6МХ1С с общим неподвижным катодом косвенного канала 4, с двумя подвижными анодами 3 в металло-стеклянном оформлении с октальным поколем 5 и мембраной 2. Механотроны серийно выпускают предприятия

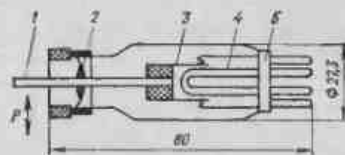


Рис. 23. Схема механотрона

Министерства электронной промышленности СССР. Механотроны предназначены не только для измерения перемещений, действующих перпендикулярно оси штока 1, но и усилий  $P$  (табл. 5).

Емкостные датчики. Изменение контролируемой величины в этих датчиках преобразуется в изменение емкости  $C$ . В соответствии с формулой  $C = \epsilon S/4\pi d$  могут быть построены три различных разновидности датчиков: с изменяющимся расстоянием  $d$  между обкладками конденсатора, с изменяющейся площадью  $S$  перекрытия пластин и с изменяющейся диэлектрической постоянной  $\epsilon$  среды, заполняющей пространство между обкладками. Наиболее распространены емкостные датчики с изменяющимся зазором  $d$ .

## 6. Характеристики механотронных преобразователей

Параметры		Тип преобразователя		
		6МХ1С	6МХ2С	6МХ3С
Напряжение накала, В		6,3	6,3	6,3
Анодное напряжение, В		5—12	8—15	6—12
Ток каждого анода, мА		5—10	6,5—11,5	20—26
Внутреннее сопротивление, кОм		<1,5	<1,2	<0,5
Чувствительность	мкА/мкм	≥30	≥40	≥100
	мА/Н	≥20	≥50	≥100
Пределы измерений	мкм	±100	±100	±150
	Н	±0,1	±0,02	±0,15
Измерительное усилие, Н		<0,2	<0,2	<0,25
Смещение настройки во времени, мкм/ч		0,02	0,06	0,2
Смещение настройки от нагрева, мкм/°С		0,05	0,07	0,05
Нелинейность характеристики, %		<1	<4	<1
Анодная нагрузка, кОм		2—3	4—5	0,8—1
Долговечность, ч		4000	2000	1000
Габаритные размеры (диаметр × длина), мм		∅ 27,3 × 80	∅ 10,6 × 50	∅ 27,3 × 75
Масса, г		35	6	35

Продолжение табл. 5

Параметры		Тип преобразователя		
		6МХ4С	6МХ5С	6МХ1Б
Напряжение накала, В		6,3	6,3	6,3
Анодное напряжение, В		8—12	8—20	8—12
Ток каждого анода, мА		5—7	2—4	6,12
Внутреннее сопротивление, кОм		<2,0	<6,0	<1,2
Чувствительность	мкА/мкм	≥10	≥3	≥20
	мА/Н	≥10	≥4	≥200
Пределы измерений	мкм	±500	±1000	0—140
	Н	±0,30	±0,30	±0,005
Измерительное усилие, Н		<0,4	<0,4	<0,015
Смещение настройки во времени, мкм/ч		0,2	0,2	0,05
Смещение настройки от нагрева, мкм/°С		0,2	0,2	0,07
Нелинейность характеристики, %		<1	<1	<4
Анодная нагрузка, кОм		3—4	6—10	4—5
Долговечность, ч		1000	1000	1000
Габаритные размеры (диаметр × длина), мм		∅ 27,3 × 75	∅ 27,3 × 75	∅ 10,6 × 51
Масса, г		35	35	5

## Б. УПРАВЛЯЮЩИЕ, ЗАПОМИНАЮЩИЕ, ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ И БЛОКИРОВОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

Управляющие и блокировочные устройства. В качестве устройства, обеспечивающего заданные характеристики работы и последовательность действий механизмов автомата, служит распределительный вал с кулачками, в том числе с кулачками, включающими определенные звенья электрических и пневматических схем. Для удобства монтажа и регулировки кулачок последнего типа выносят в отдельный меха-

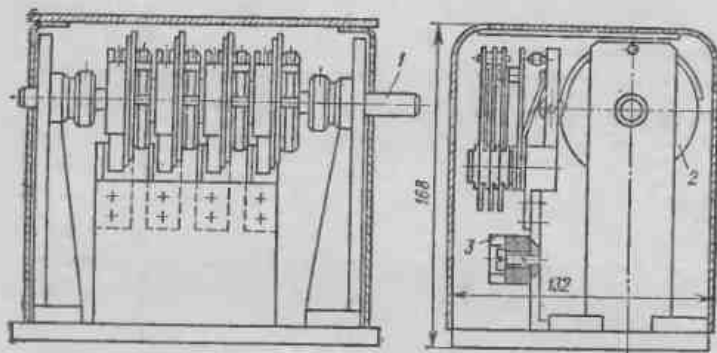


Рис. 24. Схема командоаппарата

низм — командоаппарат. Завод «Калибр» выпускает ряд нормализованных конструкций командоаппаратов (рис. 24) на 4 (мод. 205-1), на 6 (мод. 205-2) и на 10 (мод. 205-3) контактных групп, с наибольшей возможной частотой вращения вала 60 об/мин. При необходимости подачи большего числа команд последовательно устанавливаются несколько командоаппаратов. Они содержат валик 1 с кулачками 2, состоящими из двух дисков, каждый из которых имеет выступ протяженностью 180° и, регулируя положение которых, можно изменять длительность замыкания управляемой цепи. Командоаппараты могут устанавливаться в любом рабочем положении и допускают цикл не менее 1 с, напряжение на разомкнутых контактах не более 127 В, пропускаемый через контакты ток не более 3 А. В более производительных устройствах (с циклом свыше 0,1 с) применяют командоаппараты с одной парой контактов от счетно-аналитических машин, с размерами сечения 70×125 мм. В схемах бесконтактной автоматики применяют командоаппараты с бесконтактным выходом ОКБ-МЭ118, с размерами сечения 70×45 мм. Напряжение выходного импульса может достигать 150 В.

В качестве блокировочных устройств, выключающих системы при неисправностях и перегрузках, применяют микропереключатели типа Д703, КВ-9Т, МП-1, малогабаритные конечные выключатели с нажимным штифтом ВКМ-411, ВКМ-511, ВКМ-611, выключатели с на-

жимным роликом ВКМ-811, ВКМ-911, ВКМ-1011, ВКМ-1111, рычажные выключатели БВ-819, трехконтактные переключатели БВ-Н697, БВ-Н705 и БВ-Н706 (рис. 25) с контактными группами от реле РП-0 (или МКУ-48) и др. Кроме того, в пневматических системах в качестве блокировочных устройств при падении давления в сети или ее отключении используют нормализованные реле давления.

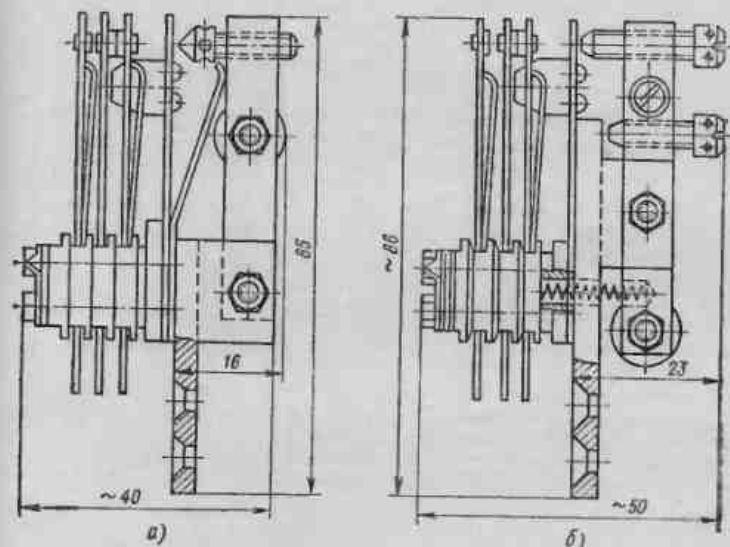


Рис. 25. Переключатели:  
а — БВ-Н705, б — БВ-Н706

Запоминающие устройства. Устройства для запоминания измерительного импульса сохраняют измерительный импульс от момента контроля до момента рассортировки деталей. Наиболее распространены механические, электромеханические, электромагнитные, электронные и пневматические способы запоминания измерительного импульса. Основными требованиями, предъявляемыми к подобным устройствам, являются их быстрдействие, надежность сохранения информации при перерывах в энергоснабжении, способы ввода и вывода информации и возможность наблюдения за передачей информации. При кратковременном запоминании отклонения размера от заданной величины при помощи какой-либо собачки или рычага стопорится заслонка или иная деталь исполнительного устройства. Механические устройства просты и надежны, но громоздки. Электрические и пневматические устройства предпочтительнее механических при многодиапазонной рассортировке, разбраковке по многим параметрам, при разбраковке с преобладанием какого-либо вида брака и т. п. (табл. 6).

В электромагнитных устройствах запоминание производится с помощью электромагнитных реле с блокирующими контактами самок-

## 6. Характеристики запоминающих устройств

Параметр элемента памяти	Механические	Электро-механические	Электромагнитные			
	с двумя положениями		Реле с блок-контактами самопитания	Реле КДРФ с магнитной блокировкой	Реле РП поляризованное	Реле Р.Ж.-19 с механической защелкой
	Рычаг	Заслонка				
Быстродействие, с	Зависит от типа автомата	Зависит от типа автомата	0,01—0,02	0,02	0,002—0,008	0,04
Сохранение информации при перерывах в энергоснабжении	Да	Да	Нет	Да	Да	Да
Синхронизация с автоматом	Механическая	Механическая	Электромагнитная			
Способ ввода информации	Перемещением рычага	Включением электромагнита	Включением катушки реле			
Способ вывода информации	Перемещением исполнительного органа	Перемещением исполнительного органа	Переключением контактов реле			
Возможность наблюдения за передачей информации	По положению рычага	По положению заслонки	По состоянию реле			
Параметр элемента памяти	Электронные				Пневматические	
	Конденсатор	Тириатрон	Переключающий диод	Триггер	Струйный элемент	Мем. браный элемент
Быстродействие, с	$10^{-8}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$	$<10^{-8}$	0,1
Сохранение информации при перерывах в энергоснабжении	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет

Продолжение табл. 6

Параметр элемента памяти	Электронные				Пневматические	
	Конденсатор	Тириатрон	Переключающий диод	Триггер	Струйный элемент	Мем. браный элемент
Синхронизация с автоматом	Электромагнитная				Пневматическая	
Способ ввода информации	Зарядом конденсатора	Включением			—	—
		тириатрона	диола	триггера		
Способ вывода информации	Переключением контактов реле	Подачей напряжения			—	—
		на анод тириатрона	на катод диода	импульсами		
Возможность наблюдения за передачей информации	По состоянию реле	По свечению тириатрона	—	По сигнальным лампам	—	—

тания, электромагнитных реле с магнитной блокировкой (типа КДРФ), поляризованных реле типа РП и электромагнитных реле типа РЭН-19 с механической блокировкой (защелкой).

Запоминание измерительного импульса при помощи самоблокирующихся контактов реле служит, например, для подачи импульса о подналадке не по одному размеру, а по серии размеров, вышедших из определенной зоны поля допуска. В этом случае при попадании первого размера в данную зону самоблокируется первое реле и подготавливается к включению второе, затем включается второе реле и т. п. Подналадка произойдет лишь в том случае, если сработает вся цепочка реле.

Электромагнитные реле срабатывают при поступлении измерительного импульса и самоблокируются до поступления сигнала, возвращающего их в исходное состояние, однако при исчезновении питающего напряжения измерительный импульс теряется. Последнего недостатка можно избежать, применяя кодовое реле типа КДРФ с магнитной блокировкой.

В электронных запоминающих устройствах применяют ячейки, использующие конденсаторы, тириатроны, переключающиеся диоды, триггеры, транзисторные элементы серии ЭТ — ферритдиодные элементы серии ФДЭ и ферромагнитную ленту. В конденсаторных ячейках информация может запоминаться в дискретной или аналоговой форме, когда величина напряжения пропорциональна контролируемому параметру. Быстродействие ячейки определяется временем заряда конден-

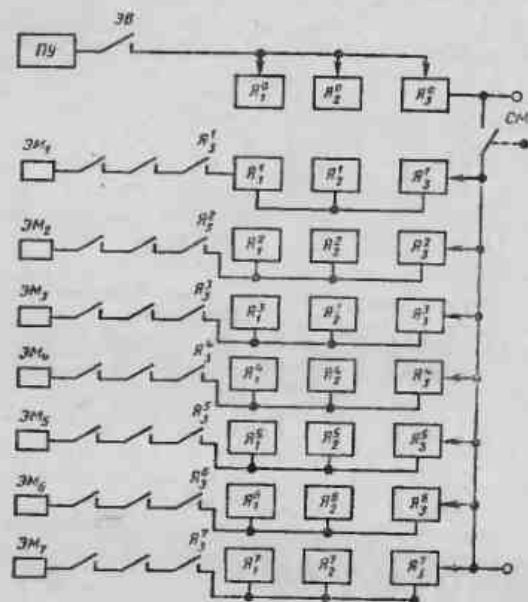


Рис. 26. Блок-схема регистра сдвига

саторов  $t_{зар}$ , а длительность сохранения информации — временем разряда  $t_{раз}$  конденсатора из-за утечек. Из тиратронных запоминающих элементов наиболее целесообразно применение безнакадных элементов с холодным катодом, поскольку они являются не только быстродействующими и остаются включенными неограниченное время после снятия сигнала, но и обладают высокой стабильностью параметров в возможности визуального наблюдения за движением информации. Высоким коэффициентом усиления, быстродействием и малыми габаритами обладают элементы памяти, построенные на переключающих диодах типа Д227. Практически безмерцонны также триггерные запоминающие ячейки, выполненные на электронных лампах или полупроводниковых триодах. Запоминание информации в подобных ячейках осуществляется путем перевода триггера в другое устойчивое состояние (измерительный импульс). Триггерные ячейки, построенные на полупроводниковых элементах, более надежны, экономичны и имеют меньшие габариты, чем электроламповые.

**Регистры сдвига.** Регистры сдвига (рис. 26) используют как многоцикловые запоминающие устройства, в которых циклически перемещающийся сигнал запоминается ячейками, состоящими из электромагнитных реле, триггеров на электронных лампах, транзисторах или тиратронах, на ферритдиодных или ферриттранзисторных элементах и др. При замыкании элемента входа ЭВ, управляемого командоаппаратом, информация с центральной линии связи в закодированном виде с порогового устройства поступает на нулевой каскад регистра сдвига. В каждый следующий цикл синхронно с перемещением детали механизм

СМ (кулачок командоаппарата) передает импульс на следующий каскад, освобождая предыдущий для приема новой информации. Коммутационная схема каждого каскада пропускает сигнал своей группы и включает соответствующий исполнительный элемент ЭМ, открывая заслонку для нужной детали. Информация порогового устройства закодирована в двоичной системе в виде 0 (нет сигнала в ячейке) и 1 (рабочее положение ячейки).

Наиболее перспективны из-за большого срока службы, малых габаритов, удобства монтажа, надежности взаимозаменяемых элементов и нечувствительности к вредным воздействиям окружающей среды (вибрациям, пыли, влаге и т. п.) бесконтактные логические элементы серий ЭТ и ФДЭ. К недостаткам подобных элементов следует отнести чувствительность к внешним электрическим помехам, зависимость работы от температуры (и особенно у транзисторов), наличие на выходе небольшого сигнала, являющегося помехой. Для использования могут рекомендоваться маломощные (ЭТ-Л03) и мощные (ЭТ-Л04) триггеры.

Однако описанные элементы теряют информацию при прекращении подачи питания. Последнего недостатка лишены устройства, построенные на серийно выпускаемых логических элементах с ферритными сердечниками: ФДЭ (ферритдиодные) и ФТЭ (ферриттранзисторные). В этих элементах информация сохраняется (путем перематывания сердечников) длительное время.

Движение информации легко наблюдается по зажиганию тиратрона, что используется в случае применения ферриттранзисторных элементов.

Широкое использование пневматических методов измерения делает перспективным применение в качестве запоминающих устройств элементов системы модулей струйной техники (СМСТ) и универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭПА). Эти элементы высоконадежны (из-за отсутствия механических перемещающихся частей), малогабаритны, просты и удобны в эксплуатации. Они обладают высоким быстродействием, так как время переключения струйных реле менее одной миллисекунды, и нечувствительны к вибрации. Работа элементов СМСТ, использующих ячейки памяти СТ-7А, СТ-7Б или запоминающий регистр СТ-7В, основана на взаимодействии струй потоков воздуха. Подобные элементы использованы в контрольно-сортировочном автомате СК-23 на 1-м ГПЗ. Принципиально возможно создание контрольно-сортировочных автоматов на элементах промышленной пневмоавтоматики (УСЭПА).

**Исполнительные устройства** автоматических систем направляют детали в соответствующий отсек годности или брака, а устройства активного контроля изменяют положение режущего инструмента относительно изделия, режим его обработки или дают сигнал на проведение определенных действий, т. е. на остановку станка или на подналадку. Исполнительные механизмы и автоматизированные устройства могут также указывать группу брака, рассортировки и т. п. Кроме того, исполнительное устройство, как правило, подает соответствующий сигнал о результатах контроля. В зависимости от функции исполнительные устройства можно разбить на следующие группы: силовые, направляющие, переключающие, корректирующие, маркирующие и сигнальные.

Силовые исполнительные устройства сами перемещают деталь в соответствующий канал. Эти устройства могут быть выполнены

на механической, электрической, пневматической или иной основе. Механические устройства применяют обычно в системах с механическим преобразованием измерительного импульса. Они имеют в качестве рабочих узлов ленту или толкатель, приводимый в периодическое действие, например, от кулачка, и выталкивающий бракованное изделие из потока годных. Электрическое силовое устройство имеет или электродвигатель, или электромагнит, снимающий изделие с транспортирующего механизма. В ряде случаев применяют пневматический привод.

Направляющие устройства изменяют путь движения изделия, перемещая заслонку или лоток. В автоматах с механическим преобразованием импульса заслонка перемещается механически. Наиболее распространенным является электромеханический привод, представляющий собой электромагнит 1 с якорем 2, воздействующим на заслонку 3 (рис. 27). Подобные устройства работают на «опускание» якоря, что позволяет питать обмотку электромагнита анодным током лампы и создает большое быстродействие схемы. Обратный ход якоря осуществляется при помощи подпружиненного толкателя. Нормализованный электромагнит типа БВ-Н707 с отпадающим якорем предназначен для управления от

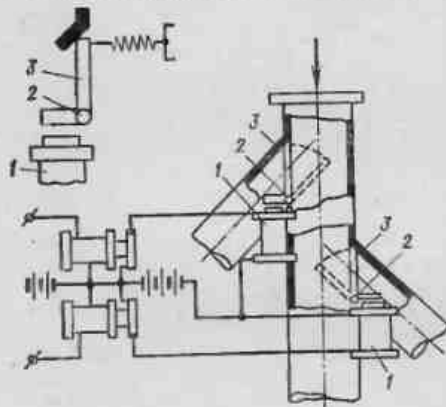


Рис. 27. Электромеханический направляющий исполнительный орган

электронного блока БВ-Н220 и снабжен катушкой из 28 000 витков провода ПЭЛ диаметром 0,1 мм, питаемую напряжением 110 В и развивающую при зазоре 0,2 мм притяжение якоря с усилием в 10 Н. Размеры электромагнита 40×60×100 мм.

Исполнительное устройство может осуществлять рассортировку детали на 2—3 и большее число групп. Исполнительные устройства, имеющие электромагнит с якорем, применяют для рассортировки изделий на 2—3 группы. При необходимости рассортировки на большее число групп применяют устройства, выполненные по схеме, показанной на рис. 28. Изделие направляется в соответствующий рукав 1 путем поворота заслонки или лотка 2 вокруг оси 3. Ось заслонки может располагаться горизонтально (этажная схема) или вертикально (лабиринтная схема) в зависимости от формы транспортируемого изделия. Перемещение заслонки может осуществляться либо при помощи электромагнита с секционными обмотками, либо при помощи нескольких электромагнитов, имеющих различный ход якорей.

Переключающие исполнительные устройства воздействуют на процесс обработки, сборки и т. п. Их применяют в основном для активного контроля. Они имеют вид конечных выключателей, прекращающих процесс обработки, изменяющих подачу и т. п. устройств для подналадки положения режущего инструмента или

его упора; элементов, вносящих коррекцию в программу работы какого-либо агрегата.

В схемах первого типа измерительный импульс заставляет работать реле, которое включает или выключает более мощный исполнительный механизм, например электромагнит, отводящий шлифовальный круг.

Путевые переключатели служат для коммутации электрических цепей в момент прихода детали или органа станка в заданное положение. В контактных переключателях требуются большие усилия на шток датчика со стороны движущихся элементов. Эти переключатели имеют низкую точность срабатывания, а их контакты подвержены коррозии и эрозии. Поэтому наблюдается стремление использовать бесконтактные переключатели, лишенные отмеченных недостатков и использующие в качестве чувствительных элементов фотодиоды и катушки индуктивности. Так, в переключателе ОКБ-МЭ104 в качестве чувствительного элемента применен фотодиод ФД-1 (рис. 29). От блока питания через дифференцирующий трансформатор синусоидальное напряжение преобразуется в остроугольные импульсы с частотой следования 50 Гц. При заданном значении амплитуды остроугольных импульсов триггер уровня начинает генерировать прямоугольные импульсы напряжения, которые после усиления включают реле управления электромагнитов исполнительных устройств. Если деталь в зоне освещения

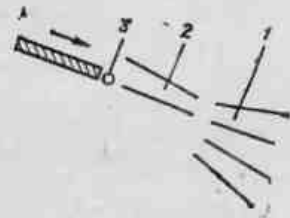


Рис. 28. Схема исполнительного органа с поворотным желобом

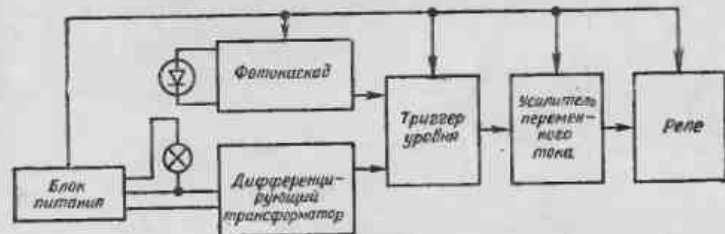


Рис. 29. Схема фотозвездного бесконтактного переключателя

отсутствует, то фотокаскад заперт и никакого действия не производит. Прямоугольные импульсы, формируемые триггером, через усилитель удерживают во включенном состоянии реле управления (типа МКУ-48). При затемнении фотодиода фотокаскад открывается, триггер перестает генерировать импульсы, и реле выключается.

В электромагнитном бесконтактном переключателе ОКБ-МЭ113 в качестве чувствительного элемента применена маломощная индуктивная катушка с незамкнутым магнитопроводом. Сопротивление в катушке меняется в зависимости от замыкания магнитного потока ферромагнитной деталью непосредственно или через промежуточный элемент. Схема (рис. 30) аналогична предыдущей. При отсутствии



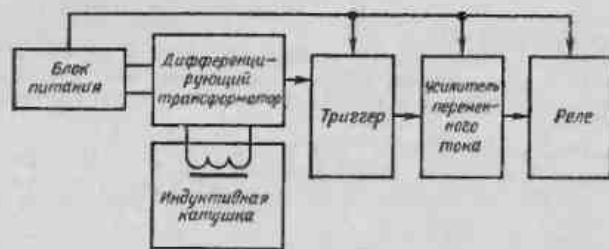


Рис. 30. Схема электромагнитного бесконтактного переключателя

детали сопротивление индуктивной катушки минимально, ток в первичной обмотке дифференцирующего трансформатора велик и управляющее реле МКУ-48 включено. После подхода детали к катушке ее сопротивление уменьшится и реле отключится. Точность срабатывания переключателей ОКБ-МЭ104 и ОКБ-МЭ113 составляет 0,3—0,4 мкм, а время срабатывания 0,03 с.

Обычно устройства для подналадки положения режущего инструмента представляют собой храповой механизм, собачка которого поворачивает храповое колесо на угол, пропорциональный требуемой подналадке. В устройствах других типов изменяется скорость обработки и т. п.

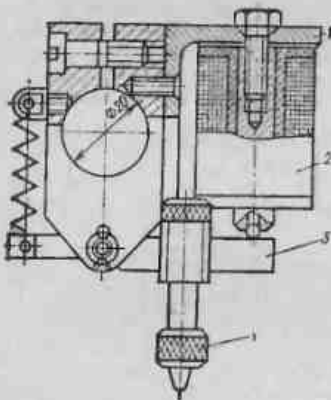


Рис. 31. Маркирующее устройство

Корректирующие исполнительные органы предназначены для автоматического смещения уровня настройки и автоматически компенсируют влияние на точность контроля износа элементов системы, силовые и температурные деформации, динамические погрешности и т. п. Различают клиновые, кулачковые и другие корректирующие органы с серводвигателем непрерывного или прерывистого действия (например, с храповым механизмом).

Маркирующие устройства ставят отметку при помощи красящего маркера 1 или электрокрандаша на поверхности детали, указывая ее принадлежность к определенной группе брака или годности, а саму разбраковку осуществляют вручную (рис. 31). Изделие, прокатываясь по направляющим, задевает рычаг 3, который в случае брака удерживается электромагнитом 2 и делает отметку на детали.

Сигнальные устройства (светофоры и звонки) дают сигнал о виде брака, номере группы и т. п. в автоматических контрольных системах эти устройства играют подсобную роль.

Область пневмоэлектрических систем. Для подготовки воздуха заводом «Калибр» серийно выпускаются стабилизирующие и филь-

трующие элементы, рассчитанные на давление в сети 3—6 МПа, следующих модификаций: стабилизаторы давления воздуха (ГОСТ 14682—79\*) мод. 338/СВ1,6 с наибольшим расходом воздуха (н. р. в.) 1,6 м<sup>3</sup>/ч и мод. СВ6 с н. р. в. 6 м<sup>3</sup>/ч, позволяющие регулировать давление до 2 МПа; фильтры для очистки воздуха (ГОСТ 14266—69\*) 336/ФВ6 с н. р. в. 6 м<sup>3</sup>/ч и групповые фильтры БВ-3101 с н. р. в. 30 м<sup>3</sup>/ч. Эффективность очистки фильтров достигает 99,96%. Наиболее компактными конструкциями являются блоки (ГОСТ 14683—79\*), содержащие стабилизатор и фильтр окончательной очистки воздуха мод. ФСВ1,6 или мод. ФСВ6.

Стабилизаторы давления и фильтры предназначены только для окончательной стабилизации и очистки воздуха. Поэтому в случае отсутствия централизованных систем подготовки воздуха следует применять воздухоподготовительные станции, например станцию ОКБ-УВ-200, рассчитанную на питание 4—5 датчиков. Она имеет две параллельные ветви предварительной очистки и осушки воздуха, работающие попеременно, влагоотделители, силикагелевые осушители и индикаторы влажности, регулятор давления. Габаритные размеры станции 360×850×730 мм. Для контроля размеров деталей в процессе отработки с использованием пневматических датчиков в ОКБ (завода «Калибр») разработан типовой пульт для изменения давления сжатого воздуха в измерительной цепи в электрические команды (но не более двух) и арретирования измерительных наконечников. При необходимости выдачи команд более двух к пульта добавляется приставка. Пульт содержит пневмоэлектрический датчик мод. 236 с точной шкалой и указатель принуса с грубой шкалой, имеет вид ящика с размерами 330×370×250 мм, напряжение сети питания 127 или 36 В.

## 6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ

Электросхемы с усилительными блоками создают возможность практически неограниченного усиления сигнала, безынерционны, позволяют выполнять разнообразные функции: запоминание, слежение, вычисление и т. п. Следует отдать предпочтение схемам бесконтактной автоматики, так как они значительно увеличивают быстродействие и надежность устройств.

Электронные или полупроводниковые схемы, управляющая энергия в которые подается через контакты датчика, в практике заводов-изготовителей носит название электронных реле (рис. 32). Завод «Калибр» серийно выпускает электронные (ламповые) реле (табл. 7), предназначенные для предельных и амплитудных электроконтактных и пневмоэлектроконтактных датчиков следующих типов: светосигнальные многоблочные мод. 209 и командные многоблочные мод. 237, позволяющие осуществлять соединение до пяти блоков и выдавать до 20 команд, командные одноблочные — нормальные мод. 238 (рис. 33), малогабаритные мод. 238-1, с усиленными контактами мод. 238-11 и быстродействующие мод. 220 (рис. 34), позволяющие выдавать не более двух команд, командные многоблочные быстродействующие мод. 239, позволяющие соединять до четырех блоков и выдавать до 16 команд. Кроме того, завод «Калибр» отдельно выпускает блок питания мод. 210 к электронным реле мод. 209 и 237, Реле БВ-Т-3080

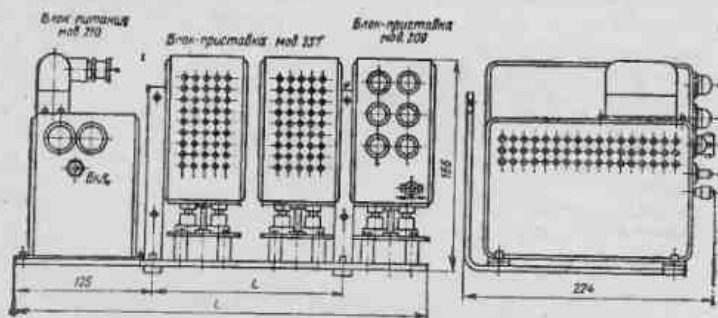


Рис. 32. Вид электронных реле

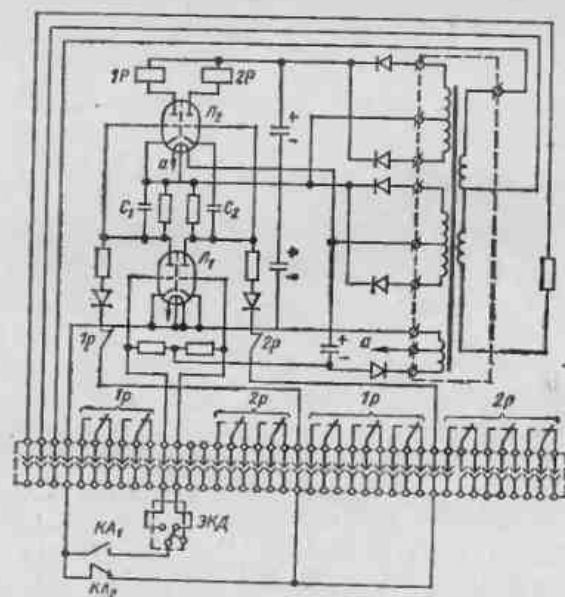


Рис. 33. Схема электронного реле мод. 238

## 7. Характеристики электронных реле, выпускаемых заводом «Калибр»

Параметры	Тип реле			
	238 (238-2)	220	237	209
Напряжение сети, В	110/127/220	110/127/220	110/127/220	110/127/220
Колебания напряжения сети, В	(-15)-(+10)	(-15)-(+10)	(-15)-(+10)	(-15)-(+10)
Ток цепи контактов датчика, мкА	150±30	150±10	150±30	150±30
Разность потенциалов на разомкнутых контактах датчика, В, не более	-12±2,5	20	-12±2,5	-12±2,5
Число срабатываний в секунду, не более	14	10	14	14
Число команд	2	2	От 4 до 20	От 4 до 20
Минимальная длительность команды, мс	20-40	1	20	20
Число переключающих контактных групп на одну команду	5 (3)	5	4	4
Потребляемая мощность, Вт	18	18	150	150
Интервал рабочих температур, °С	(-15)-(+60)	-	-	-
Габаритные размеры, мм	184×173× ×84 (74)	184×175×84	288×224× ×186 или 540×224× ×186	288×224× ×186 или 540×224× ×186
Масса, кг	3,1	3,1	11,5 или 20,0	11,5 или 20,0

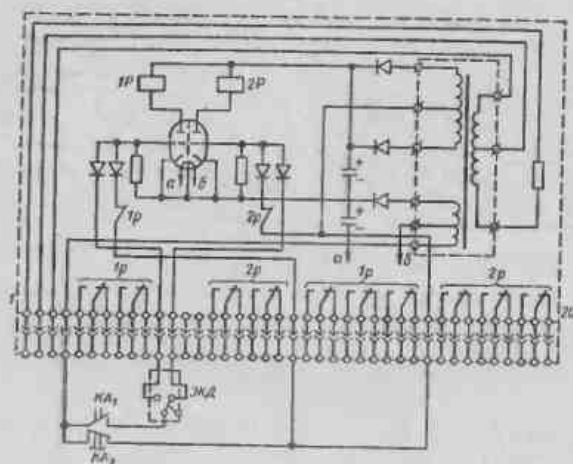


Рис. 34. Схема электронного реле мод. 220

предназначено для устройств активного контроля. Реле выпускают в трех исполнениях на 2, 3 и 4 команды. На ЛИЗе для фотоэлектрических сортировочных датчиков типа ПФС выпускаются релейные блок-приставки типа 70405, 70406, 70407, 70408, позволяющие выдавать до 20, 30, 40 и 50 команд.

Электронные лампы заменяют полупроводниками, характеризующимися неограниченным сроком службы, низким напряжением питания и малыми габаритными размерами. В этой связи следует отметить полупроводниковое реле ОКБ-МЭ115М блочной конструкции (на две и большее число команд), которое нормально работает при температуре окружающей среды не выше  $60^{\circ}\text{C}$  и имеет время срабатывания  $\leq 40$  мс. К быстродействующим полупроводниковым реле следует отнести реле ОКБ-МЭ131, содержащее входной усилитель, обеспечивающий срабатывание реле от малых входных сигналов, и триггер, создающий возможность фиксации сигналов, длительность которых не превышает 0,02 мс. Реле имеет следующие характеристики: температура окружающей среды  $< 50^{\circ}\text{C}$ , напряжение на разомкнутых контактах датчика 2—3 В, ток через контакты датчика 150 мкА, напряжение питания 127 В (50 Гц). Реле ОКБ-МЭ131 выпускают с двумя, четырьмя, шестью и восемью реле на две команды каждое. В схемах бесконтактной автоматики применяют быстродействующее полупроводниковое реле ОКБ-МЭ120, мощность выходного сигнала которого равна 20 Вт при токе нагрузки 2 А.

Полные электрические схемы контрольных автоматов и устройств управляющего контроля сложны и отличаются друг от друга видом и числом контролируемых параметров, типом применяемого датчика и исполнительного устройства, а также требованиями к последовательности или виду выдаваемых команд. Рекомендуется применять пусковую цепь автомата (рис. 35).

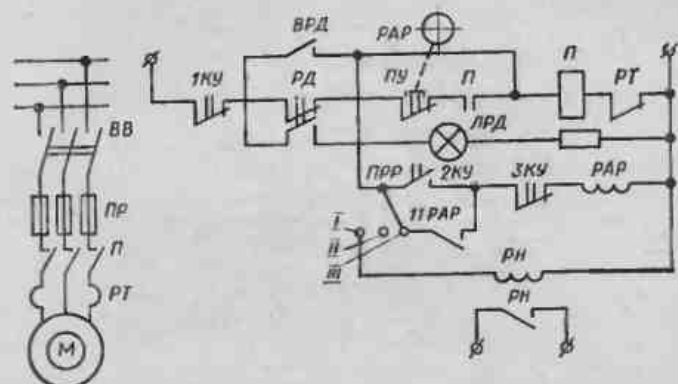


Рис. 35. Пусковая электросхема контрольной системы:

ВВ — входной выключатель; ПР — предохранители; П — магнитный пускатель; РТ — тепловое реле; КУ — кнопочное устройство; ВРД — выключатель реле давления; РД — реле давления; РАР — реле автоматической работы; РН — реле наладки; ПРР — переключатель режимов работы; ЛРД — лампочка реле наладки; ПУ — переключающее устройство; I — наладка; II — цикловая работа; III — автоматическая работа

Для счета числа  $n$  проконтролированных или забракованных деталей, а также устранения ложных команд, при необходимости подналадки только после появления нескольких деталей с недопустимыми отклонениями размеров, применяют релейные счетные схемы ( $n < 10$ ), реле счета импульсов типа Е-531, схемы с реле времени (реле времени настраивают на интервал между идущими подряд импульсами), электромагнитные счетчики (типа СЭМ-1 при скорости счета  $v < 1$  имп/с и типа СБ при  $v < 0,01$  имп/с) и др.

## 7. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

К автоматизированным контрольным устройствам относят светофорные и полуавтоматические устройства с датчиками, сигнализирующими о результатах контроля или управляющими исполнительными механизмами. Эти устройства широко используют в индивидуальном, мелкосерийном и режиме крупносерийном производстве. Обычно в таких устройствах применяют ручную загрузку и съем детали с измерительной позиции. Достоинствами этих устройств являются их низкая стоимость по сравнению с автоматами, повышенная производительность по сравнению с механизированными приспособлениями, особенно при многомерном контроле, высокая точность, объективность результатов измерения и возможность применения типовых элементов электрических схем. Светофорные приспособления обеспечивают лишь контроль предельных отклонений, а не измерение действительных размеров изделия. Светофорные устройства предпочтительно применять при многомерном контроле сложных изделий (при одновременном измерении более двух раз-

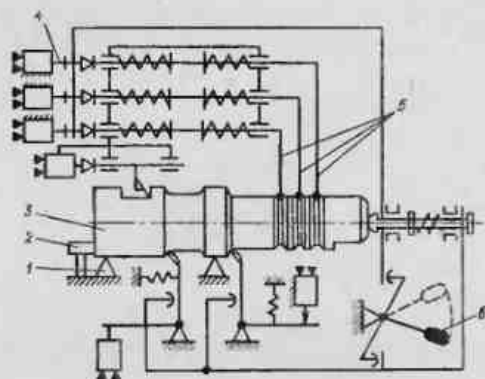


Рис. 36. Схема измерительной позиции многомерного приспособления

меров), например, таких деталей, как поршни, поршневые пальцы, коленчатые валы, клапаны двигателей и т. д.

В сборных контрольных приспособлениях на опорной плите с Т-образными пазами монтируют базисные элементы (призмы, центры, оправки, столы), закрепляющие элементы (патроны, рукоятки, прижимы), элементы установки и съема изделий с измерительных позиций, передаточные устройства (штоки, рычаги, коромысла, прижимные подвески), датчики и показывающие приборы, исполнительные устройства в виде светофорных табло, экранов, блоков с цифровой индикацией, устройства поворота и перемещения изделий, усилительно-преобразующие элементы с пороговыми схемами и электронными реле.

На рис. 36 представлена схема измерительной позиции многомерного приспособления БВ-7221, предназначенного для контроля до шести размеров валов и ползунов с погрешностью контроля не более  $\pm 0,025$  мм, с габаритными размерами  $410 \times 207 \times 319$  мм. Контролируемую деталь 3 вручную укладывают на базисные призмы 1 и прижимают к упору 2. Поворотом ручки 6 арретирующего механизма скобы с датчиками 4 наводятся на деталь, а измерительные наконечники 5 входят в проточки детали. В зависимости от вида брака и годности на световом табло загорается зеленая, белая или красная лампочка.

Заводами «Калибр», КРИН и ЛИЗ по заказам изготавливаются блоки и приборы многомерных универсальных контрольных приспособлений, представляющих собой набор независимых составных частей, число и расположение которых определяется исходя из количества контролируемых параметров и конфигурации детали (табл. 8).

Заводом «Калибр» выпускаются следующие автоматизированные приборы:

1. Прибор самобалансирующийся со светофором, мод. 327 и 324 с ценой деления шкалы 0,2; 0,5 и 1 мкм, с погрешностью контроля 0,3; 0,5 и 0,8 мкм и пределами измерения  $\pm 40$  делений.

2. Прибор электрический самопишущий с записью чернилами в в прямоугольных координатах, мод. БВ-6062 с пределами увеличения

### 8. Характеристики электронных измерительных систем, выпускаемых заводом «Калибр»

Параметры	Тип системы		
	212 (214) * и 215		217
Пределы измерения, мкм	$\pm 3, \pm 6, \pm 15, \pm 30, \pm 60$		$\pm 15, \pm 30, \pm 150, \pm 300, \pm 1500$
Цена деления, мкм	0,1; 0,2; 0,5; 1,2		0,5; 1,5; 10; 50
Погрешность в делениях шкалы с одним (двумя) преобразователями	1 (2)		1 (2)
Параметры	Индуктивный преобразователь моделей		
	223	227	234
	Измерительное усилие, Н		1,2
Полный ход наконечника, мм	2	1	8
Посадочные размеры преобразователя, мм	$\varnothing 6 \text{ H7}$	$\varnothing 26 \text{ H7}$	$\varnothing 26 \text{ H7}$
Питание	напряжение, В		220
	потребляемая мощность, Вт		10
Габаритные размеры, мкм	270 × 183 × 139		270 × 183 × 190
Масса, кг	5		5

\* В системе типа 214 имеется один преобразователь. В системе типа 215 имеется узел смещения нуля, позволяющий осуществлять дискретное расширение пределов измерения на  $\pm 3$  и на  $\pm 6$  мкм при цене деления соответственно 0,1 и 0,2 мкм.

от 200 до 5000, шириной поля записи показаний 160 мм, предельной частотой записи 1 Гц и измерительным усилием  $\leq 50$  сН.

3. Прибор электрический самопишущий с электротермической записью в прямоугольных координатах мод. 260, с пределами увеличения от 100 до 10 000, шириной поля записи 160 мм, предельной частотой записи 6 Гц и измерительным усилием  $\leq 125$  сН.

## 8. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПАССИВНОГО КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ

Классификация, точность и производительность средств пассивного контроля размеров. Так как в массовом производстве под контролем изделий понимают не только установление соответствия их действительных размеров предельным (калибровка, сравнение с образцовыми деталями и т. д.), но и измерение размеров в целом, то различают автоматические системы разбраковочные, образующие в процессе контроля группы годных и отбракованных изделий, и сортировочные, осуществляющие рассортировку изделий на группы по размерам и форме. Различают также комплектующие системы, осуществляющие комплектацию сборочных единиц в зависимости от размеров входящих в них деталей, и системы со встроенным контролем, в которых контрольные операции выполняются после технологических. По степени охвата изделий контрольными операциями различают системы сплошного (100%-ного) и выборочного контроля.

В зависимости от состояния изделия в процессе контроля (покой или движение) различают системы с периодическим и непрерывным перемещением изделий. По степени воздействия преобразователей контрольного импульса на изделие различают две группы систем: с контактным и с бесконтактным воздействием. По числу контрольных позиций системы подразделяют на одно- и многопозиционные.

Точность и точностная надежность средств пассивного контроля размеров определяются величинами возмущающих воздействий (приходящих и собственных колебаний, соударений подвижных масс, центробежных сил, колебаний температуры и др.), выбором метода контроля, типом преобразователя контрольного импульса и степенью его воздействия на изделие, инструментальными погрешностями контрольных позиций и жесткостью системы, свойствами контролируемых изделий (шероховатость поверхности, степень загрязненности, жесткость и т. п.). Величина комплексной предельной погрешности средств пассивного контроля размеров составляет от  $\pm 0,25$  мкм до  $\pm 10$  мкм в зависимости от сочетания перечисленных факторов.

Идеальная теоретическая производительность системы непрерывного действия, шт/с

$$P_T = \frac{1}{T},$$

где  $T$  — продолжительность цикла, с.  
Действительная производительность

$$P_d = P_T \beta,$$

где  $\beta$  — коэффициент использования, определяемый выражением

$$\beta = \frac{P_d}{P_T} = \frac{1}{1 + \frac{\sum \Delta T}{T}};$$

$\sum \Delta T$  — сумма потерь времени при изготовлении одного изделия на наладку, настройку, профилактику, простои и др.

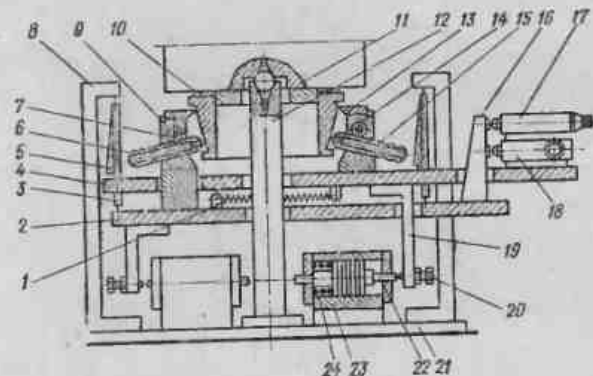


Рис. 37. Первая позиция автомата БВ-471 для контроля колец роликоподшипников

Для контрольных систем в зависимости от их конструктивных особенностей величина коэффициента использования составляет 0,6—0,95.

Типаж систем для пассивного контроля. В зависимости от формы поверхности контролируемых изделий и размеров, подвергаемых контролю, системы для пассивного контроля подразделяют на следующие типы: для контроля диаметров и формы деталей типа тел вращения (пальцев, роликов, шаров, колец и др.), для контроля длин, глубин и толщин, для контроля резьбовых деталей, для контроля зубчатых колец, для контроля параметров качества изделий.

В табл. 9 приведены технические данные типажа систем, предназначенных в основном для контроля деталей и изделий подшипникового производства.

Системы для контроля диаметров и формы деталей типа тел вращения. Для данного контроля применяют системы с наклонно расположенными линейками, шиберные, с транспортирующими дисками, с отклоняющимся рычагом, с клиновыми калибрами, с раздвижными линейками и роликами, роторные и другие системы.

На рис. 37 представлена позиция системы БВ-471, на которой производится контроль диаметра, овальности и угла конуса дорожки качения внутреннего кольца конического роликоподшипника. Измерительное устройство установлено в основании 21 на станине. Стойка 12 с шариком служит для центрирования магнитного патрона 11, в котором закреплено кольцо роликоподшипника. К стойкам 8 на плоских

9. Технические характеристики автоматических систем контроля

Тип	Назначение	Диапазон контролируемых размеров, мм	Число групп сортировки	Погрешность, мкм	Тип преобразователя	Производительность, шт/ч	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Б1АК	Сортировка наружных и внутренних колец шарикоподшипников по диаметру дорожки качения	Диаметр 40—72, ширина 12—19 Диаметр 23—50, ширина 12—19	12	±1,5	ПФС-5	1 800	1695 × 1285 × 1780	600
402		1—8	7	0,5		7 000	1000 × 650 × 1265	220
403		3—8	7	±0,5		18 000	1000 × 650 × 1265	300
408	Сортировка шаров шарикоподшипников по диаметру	8—18	7	±0,75	Электронно-дуктивный	7 000	1220 × 950 × 1350	350
413		1—8	7	±0,2		7 000	956 × 610 × 1246	250
415		3—8	7	±0,2		7 000	956 × 610 × 1246	250
31АК		6,5—10	12	±0,5	Механические	12 000	680 × 745 × 1525	186
34АК	Сортировка шаров шарикоподшипников по диаметру	4—6,5 10—20	12	±0,5		12 000	680 × 745 × 1385	164
45АК		10—20	12	±0,25	ПФС-05	10 000	880 × 1220 × 1470	500
46АК		20—32	12	±0,25		5 000	880 × 1220 × 1470	500

36АК	Сортировка цилиндрических роликов по длине и диаметру	16—26	40	Диаметр ±0,5, длина ±2	Для диаметра — фотоэлектрический, для длины — электронный-тактовый	1 800	1070 × 1300 × 1564	500
50АК	Сортировка игольчатых роликов по диаметру и длине	Диаметр 2—3, длина 10—30 Диаметр 1,6—3, длина 8—30	14	Диаметр ±0,2, длина ±6 Диаметр ±0,5, длина ±3		20 000 5 000	980 × 640 × 1940 910 × 1195 × 1640	500 600
420		Диаметр 4—10, угол конуса 2—6°, длина 7—17	12	0,4		7 200	1444 × 1390 × 775	—
421	Сортировка конических роликов	Диаметр 10—25, угол конуса 2—5°, длина 17—46	12	0,4	Электронно-дуктивный	4000—5600	1580 × 2070 × 1250	—
422		Диаметр 25—45, угол конуса 2—8°, длина 30—80	15	0,5—0,8		1 000	2000 × 1700 × 760	1 070
40АК1	Контроль посадочных диаметров подшипников	Наружный 7—8, внутренний 3, высота 2,5—5	3	Наружный ±0,5, внутренний ±0,8	Индуктивный трансформаторный	720	520 × 1050 × 1275	300

Продолжение табл. 9

Тип	Назначение	Диапазон контролируемых размеров, мм	Число групп сортировки	Погрешность, мкм	Тип преобразователя	Производительность, шт/ч	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
41АК1	Контроль радиального зазора радиальных шарикоподшипников	Наружный диаметр 7—16, внутренний 3—5, зазоры 0—30 мкм	3	$\pm 1$	Индуктивный (амплитудный)	850	460 X 520 X 1280	160
ЕВ8008	Контроль поршневых пальцев	Диаметр 15—60, длина 55—120	5	Диаметр $\pm 1$ Форма $\pm 0,75$	Пневмоэлектронный	450	1100 X 2950 X 2060	900
К-776М	Сортировка конденсаторной слюды	7 X 14; 14 X 14; 19 X 25; 25 X 25; 20 X 30; 30 X 40; 40 X 50	7	$\pm 2$	Электронный	4300—6000	735 X 750 X 1340	335
К-1017	Сортировка готовых конденсаторной слюды по группам толщин	100 X 100; 60 X 60; 40 X 40	6	$\pm 2$	Электронный	1 800	540 X 1185 X 1570	400

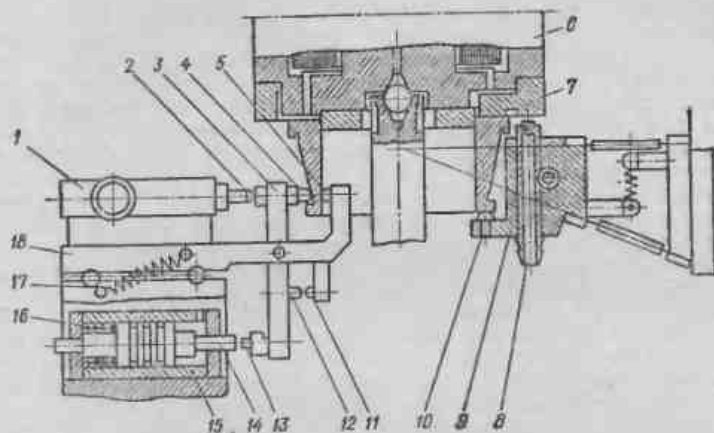


Рис. 38. Вторая позиция автомата ЕВ-471 для контроля колец роликоподшипников

пружинных подвесках 5 и 9 прикреплены соединенные пружиной 1 плавающие рамки 2 и 4, на которых установлены кронштейны 7 и 14 с твердосплавными наконечниками 13. При установке в патроне 11 с базовыми опорами 10 контролируемого кольца наконечники 13 опираются в момент контроля на поверхность дорожки качения кольца. На нижней рамке 2 установлен кронштейн 16 с упорами, взаимодействующими с измерительными наконечниками преобразователя 17 и 18, закрепленных на верхней рамке 4. Электроконтактный предельный преобразователь 17 контролирует диаметр дорожки, амплитудный преобразователь 18 контролирует овальность дорожки качения кольца. Сопла 6 и 15 с винтами 9, установленные в кронштейнах 7 и 14, измеряют разность диаметров дорожки на определенной длине, т. е. отклонение угла конуса. Эти сопла подсоединены к опорному сифону пневмопреобразователя, который реагирует на изменение суммарного зазора у торцов обоих сопл. Для отвода рамок 2 и 4 от кольца при его установке или снятия служат пневматические арретиры 23, пружины 24 которых перемещают штоки 22 и посредством регулировочных винтов 20 и кронштейнов 19 отводят рамку от центра позиции. При контроле в полость цилиндра арретира 23 поступает сжатый воздух и перемещает поршень со штоком 22 к центру, освобождая рамку.

На другой позиции (рис. 38) контролируется разностенность и высота внутренних колец конического роликоподшипника. Контроль разностенности производится амплитудным преобразователем 1 электроконтактного типа, установленным на каретке 18. Погрешность радиального бienia кольца исключается посредством установки каретки 18 на шариковых направляющих. Базовый упор 5 каретки соприкасается с внутренней поверхностью кольца под усилием пружины 17. С наружной поверхностью кольца соприкасается наконечник 4 рычага 3, который установлен на каретке и может качаться вокруг оси. Наконечник 4

прижимается к поверхности кольца под измерительным усилием штока 2 преобразователя 1. Арретирование наконечника 4 после окончания контроля производится штоком 14 пневмоцилиндра 15, перемещающимся вправо под действием пружины 16, в то время как в правой полости пневмоцилиндра 15 давление уменьшается до атмосферного. При этом шток 14 через упоры 13 и 12 рычага 3 воздействует на упор 11 каретки 18, вследствие чего контролируемое кольцо освобождается от нажима упоров 4 и 5. Контроль высоты кольца осуществляется пневмосоплом 8, воздух из которого поступает под давлением в зазор между верхним торцом сопла и нижней базовой плоскостью кольца 7 патрона 6. Упор 10 колодки 9, установленной на подвеске из плоских пружин, соприкасается с плоскостью нижнего торца кольца, которое при контроле отклонения от соосности и высоты вращается вокруг своей оси.

Системы для контроля длин и толщин. На рис. 39 представлен контрольный блок роторной системы, в которой контролируется глубина выточки, длина и наружный диаметр металлического стаканчика. К корпусу блока присоединены с двух сторон измерительные головки 2 и 10 с электроконтактными рычажными преобразователями 9. В штоках 3 и 8 головок закреплен контрольный инструмент 4 и 7, а также упоры 1 и 11, взаимодействующие с измерительными стержнями преобразователей 9. При контроле стаканчик 12 поджимается своим торцом к базовому кольцу 5, при этом измерительная головка 2 контролирует глубину выточки, а измерительная головка 10 — длину стаканчика и наружный диаметр. Наружный диаметр контролируется проходным кольцом 6. При невхождении стаканчика в кольцо головка 10 отбраковывает его как «длинный».

Системы для контроля резьбовых деталей. Для контроля наружных резьб (болтов) используются плоские плашки без прокатывания изделия (контроль резьб точного класса по приведенному среднему диаметру в одном осевом сечении), плоские плашки с прокатыванием изделия (контроль малогабаритных изделий), резьбовые ролики и разрезные сегментные калибры (рис. 40).

Внутренние резьбы контролируют посредством раздвижных или предельных калибров пробок.

Конструктивная схема системы для контроля резьбы винтов МЗ—М8 показана на рис. 41. Из загрузочного устройства винты попадают в питающий лоток 4, откуда они поочередно поступают на контрольную позицию, выполненную в виде закрепленной на ползуне 1 подвижной плашки 3, совершающей возвратно-поступательное движение, и неподвижной плашки 6, связанной с электроконтактным преобразователем 7. Контролируемый винт подается отсекателем 5 к фиксатору 2. При движении ползуна 1 вниз плашки 3 и 6 захватывают и прокатывают винт. В зависимости от размера приведенного среднего диаметра резьбы винта замыкается один из контактов преобразователя 7, при этом подается соответствующий электрический импульс на разбраковочное устройство (брак исправимый, годный, брак неисправимый). Настройка системы производится по двум предельным резьбовым калибрам-пробкам.

Одним из наиболее распространенных методов контроля внутренних резьб является контроль вначале гладким проходным калибром 2 (рис. 42), затем резьбовым проходным калибром 3 и наконечником гладким непроходным калибром 1. Гладкий и резьбовой проходные калибры выполнены в виде комбинированного калибра и снабжены приводом

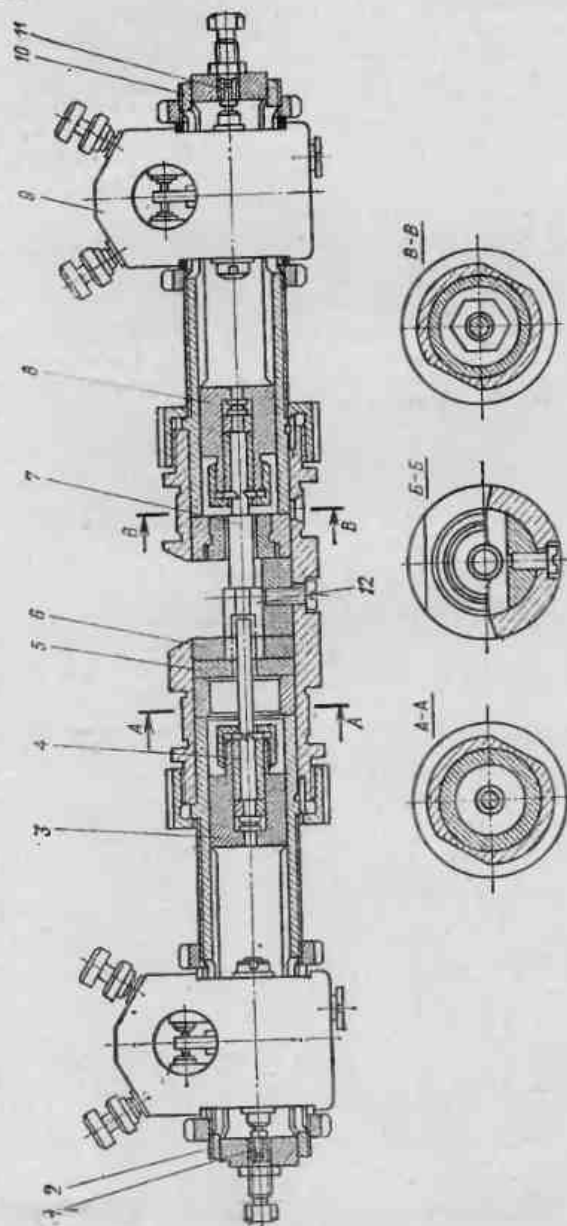


Рис. 39. Блок контроля глубины выточки, длин и наружного диаметра стаканчика



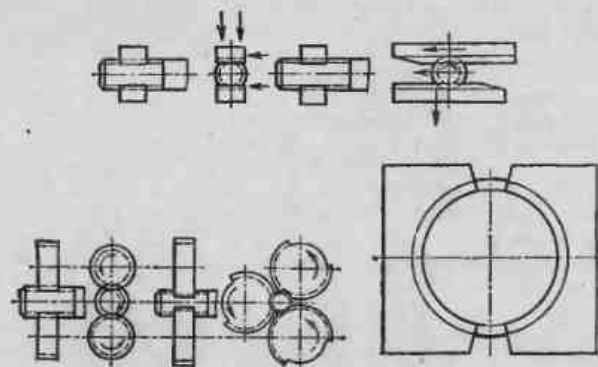


Рис. 40. Схемы контроля наружных резьб

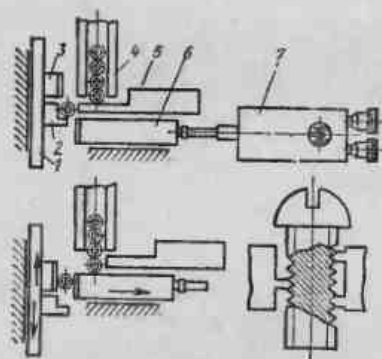


Рис. 41. Схема автомата для контроля резьбы винтов

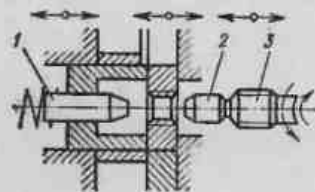


Рис. 42. Схема контроля внутренней резьбы

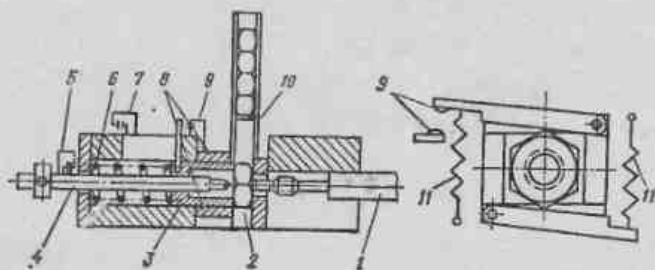


Рис. 43. Схема автомата для контроля резьбы гаек

возвратно-поступательного и вращательного движений. Гладкий непроходной калибр имеет привод возвратно-поступательного движения. На рис. 43 представлена схема контрольной позиции системы для контроля данным методом внутренней резьбы гаек. Гайки поштучно подаются из магазина с помощью отсекателя 10, на измерительную позицию 2. Комбинированный проходной калибр 1 укреплен на шпинделе и имеет вращательное с реверсом и возвратно-поступательное движение. Сначала в гайку входит гладкий проходной калибр, который проверяет внутренний диаметр резьбы и ориентирует ось резьбы с осью резьбового калибра. Если размер резьбы заужен, то гайка заклинивается на калибре и начинает вращаться в щеках 8, растягивая пружины 11. При этом размыкается контакт 9, подающий командный сигнал на разбраковочное устройство. При реверсировании движения калибра он вывинчивается из гайки, так как усилие, удерживающее гайку в щеках 8, при вывинчивании резко возрастает за счет уменьшения плеча щеки при сохранении момента от действия пружин 11. После вывинчивания и выхода проходного калибра следует контроль непроходным калибром 4. Если он входит во внутренний диаметр резьбы, то размыкается контакт 5, управляющий устройством разбраковки. В том случае, когда в этот диаметр не входит гладкий проходной калибр 1, он проталкивает гайку вместе с прокладкой 3, вследствие чего сжимается пружина 6 и размыкается контакт 7, также связанный с разбраковочным устройством.

На рис. 44 изображена головка для контроля внутренних резьб. Резьбовая пробка-калибр состоит из двух взаимосвязанных половин, которые заводятся в контролируемое резьбовое отверстие в сжатом состоянии прямолинейным перемещением всей головки. После этого резьбовая пробка разжимается и ввинчивается в резьбу при вращении контролируемой детали. При отклонении в размерах резьбы размыкается нормально замкнутый контакт, подающий сигнал на разбраковочное устройство. Самоустановка пробки по резьбе и ее продольное перемещение осуществляются за счет выхода конуса 3 из конусного отверстия 2 и подвески всей головки в момент контроля на резиновом шнуре 1.

Системы для контроля зубчатых колес. Для контроля и разбраковки зубчатых колес диаметром до 320 мм созданы автоматы типов АШКА-1 (разработан ЭНИМС), БВ-539 и БВ-8010 (разработан Бюро взаимозаменяемости Минстанкопрома). На этих системах контролируются кинематическая погрешность колес в однопрофильном и двухпрофильном зацеплениях, а также колебание величины бокового зазора.

Одновременно выявляются также погрешности плавности работы зубчатых колес.

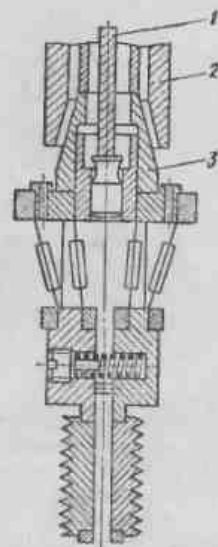


Рис. 44. Головка для контроля внутренних резьб

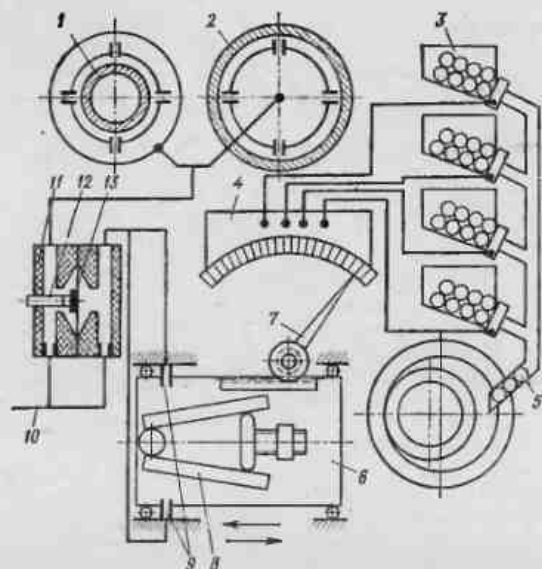


Рис. 45. Система для автоматического контроля и комплектования при селективной сборке шарикоподшипников

Системы для автоматического контроля и комплектования при селективной сборке. Селективная сборка может осуществляться тремя основными способами: загрузкой системы рассортированными на размерные группы составными частями изделий с последующим комплектованием по заданной программе; подбором парных составных частей без предварительной рассортировки по группам; предварительной рассортировкой на группы только одной составной части из двух или нескольких сопрягаемых с последующим контролем нерассортированных составных частей и комплектованием их с рассортированными составными частями определенной размерной группы. Последний способ применяют при сборке шарико- и роликоподшипников с целью получения радиальных и осевых зазоров собранных подшипников в пределах нормированных величин. Конструктивная схема системы для автоматического контроля и комплектования при селективной сборке шарикоподшипников представлена на рис. 45. На измерительных позициях системы одновременно измеряются средние диаметры беговых дорожек внутренних 1 и наружных 2 колец подшипника. В каждой измерительной станции установлено по четыре пневмосола, расположенных под углом  $90^\circ$  друг к другу. Это позволяет оценить размер желоба по усредненному значению диаметра. Все восемь сопл включены в одну ветвь пневматического мембранного преобразователя 11. Чем меньше диаметр желоба наружного кольца и чем больше диаметр желоба внутреннего кольца, тем меньше их разность и суммарный зазор у сопл, от которого зависит давление с левой стороны мембраны пре-

образователя. Давление с правой стороны мембраны определяется зазором между соплами 9 и клином 8. Клин перемещается в сторону уменьшения зазора, и при выравнивании давлений с обеих сторон мембраны происходит замыкание электрических контактов 12 и 13. В момент замыкания рейка подвижной каретки 6 установит щетку 7 коммутатора в определенное положение, когда будет замкнут контакт коммутатора, соответствующий требуемой для комплектования размерной группе шариков. Многосекционное реле 4 подает команду на выдачу комплекта шариков 5 из определенного бункера 3. Сжатый воздух стабилизированного давления в данной системе подается на вход 10, а также на устройства для арретирования измерительных сопл посредством золотника, управляемого электромагнитом.

## 9. АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ

Классификация средств и методов активного контроля. Активному контролю могут подвергаться линейные и угловые размеры деталей, формы поверхности изделий, взаимное расположение линий и поверхностей в пространстве, толщина покрытий, чистота поверхности, установление факта наличия пробитых или просверленных отверстий и т. п. Поскольку момент воздействия на технологический процесс можно определить и при помощи, например, статистических методов контроля, то часто активный контроль называют технологическим, или управляющим контролем с автоматической обратной связью.

Активный контроль является одним из наиболее прогрессивных методов контроля. Особенно рационально его применение в массовом и крупносерийном производстве. В общем машиностроении активный контроль получил распространение преимущественно на шлифовальных и других отделочных операциях, так как допуск на изготовление деталей на этих операциях мал, а стоимость деталей высока. Применение средств активного контроля обеспечивает повышение производительности труда (в среднем на 10%), сокращает расход электроэнергии за счет ликвидации холостых ходов и снижает процент брака.

Контроль можно осуществлять контактными и бесконтактными методами, причем можно контролировать как положение поверхности изделия (например, расстояние до необрабатываемой поверхности), так и положение кромки обрабатывающего инструмента или рабочих элементов станка (например, суппорта). Передача измерительного импульса от точки контакта с контролируемой поверхностью к измерительной головке или датчику может осуществляться при помощи рычажной или рычажной (состоящей из одного или нескольких рычагов) системы.

Контроль можно осуществлять до начала обработки (например, контроль величины припуска), в процессе обработки и после обработки детали. В зависимости от способа воздействия на исполнительные органы станка известны активные устройства трех типов:

автотолераторы (рис. 46) — устройства, изменяющие или прекращающие процесс обработки в момент вхождения действительного размера изделия в поле допуска (применяют для контроля и воздействия в процессе обработки на одно и то же изделие);

автоподладчики (см. рис. 2) — устройства, которые, воздействуя на механизмы наладки станка, изменяют их расположение

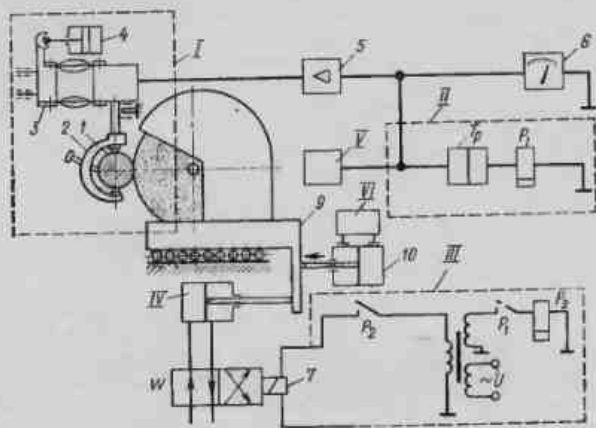


Рис. 46. Элементарная схема автоотделителя с исполнительным органом станка: I — обрабатываемая деталь; 2 — головка; 3—4 — подводимое устройство головки; 5 — усилитель; 6 — показывающий прибор; 7 — исполнительный электропривод; 8 — золотник; 9 — каретка шлифовальной бабки; 10 — гидрпривод подачи; 11 — блок головки; III — исполнительный блок станка; IV — гидрпривод быстрого отвода шлифовальной бабки; V — блок питания электросхемы; VI — блок гидравлических подач

относительно обрабатываемой поверхности изделий и не позволяют размерам последующего изделия выходить за определенные границы; автоблокировки (см. рис. 2, а) — защитные устройства, служащие для контроля изделий до и после обработки на данном станке. Они либо не допускают попадания в станок деталей, у которых размер, форма, конфигурация или расположение поверхностей отличаются от требуемых, либо предназначены для остановки станка в случае поломки режущего инструмента или выхода размеров изделий за установленные пределы.

Подналадчики могут корректировать положение суппорта с режущим инструментом, положение упора или изделия. Подналадчик, контролирующий изделие до обработки, устанавливает режущий инструмент в положение, определяемое величиной припуска. Его можно применять для контроля в процессе обработки, например при шлифовании на проход, когда контроль размера осуществляется либо после каждого прохода, либо после обработки части поверхности (когда другая часть еще обрабатывается), и в зависимости от величины размера дается импульс на перемещение режущего инструмента на следующую малую величину. Большинство же подналадчиков осуществляет контроль после обработки, когда величина воздействия на устройство наладки станка зависит от результата контроля.

Можно применять схему двойного активного контроля (метод самонастройки), когда периодически производится поднастройка кне упора суппорта, а настройки автоотделителя, осуществляющего контроль в процессе обработки. Необходимость и целесообразность метода активного контроля определяются следующими факторами:

недостаточной точностью или стабильностью оборудования и невозможностью получения большей точности или стабильности при существующем методе обработки; степенью ответственности данной операции и количеством контролируемых деталей после нее; массовостью данной операции; является ли данная операция окончательной.

## 10. УСТРОЙСТВА ДЛЯ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ (АВТОТОЛЕРАТОРЫ)

Для активного контроля размеров находят применение безрычажные устройства с одной, двумя и тремя точками контроля, а также одноточечные и двухточечные рычажные устройства. Одноточечные устройства выполняют обычно лишь с одним рычагом или штоком.

Двухточечные устройства выполняют в модификациях с двумя штоками или двумя (двухрычажные устройства с подвижным шарниром), а также с тремя рычагами, причем третий рычаг является суммирующим. Были разработаны трехточечные безрычажные, а также рычажные устройства, последние, однако, обеспечивают примерно ту же точность, что и двухточечные, но ввиду сложности, громоздкости, трудности настройки и неудобства использования (загружают рабочую зону) они вытеснены двухточечными устройствами, и их применяют лишь в виде трехточечных скоб с одним рычагом для контроля прерывистых поверхностей.

Одноточечные безрычажные устройства. К устройствам этого типа относится, например, устройство для автоматического контроля диаметра желоба наружного кольца шарикоподшипника. Очевидно, смещение детали  $\Delta y$  в направлении линии измерения для всех одноточечных безрычажных схем вызывает такое же перемещение измерительного наконечника. При смещении детали на величину  $\Delta x$  в направлении, перпендикулярном линии измерения, наконечник сместится в вертикальном направлении на величину

$$\Delta y' = \frac{\Delta x^2}{2(R_d - R_k)},$$

где  $R_d$  — радиус детали;  $R_k$  — радиус контактной поверхности наконечника.

Суммарная погрешность устройства при смещении детали составляет

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta y + \frac{\Delta x^2}{2(R_d - R_k)}.$$

Конструкции подобных устройств показаны на рис. 47. Измерительный наконечник 1 соприкасается с деталью твердой вставкой и воздействует на нижний конец рычага, несущего электроконтакт 2. Настройка на заданные размеры осуществляется винтами 3 с контактами. Измерительное усилие порядка 50—60 Н создается пружинами 4. Отвод наконечника от поверхности детали осуществляется рукояткой 5 через кулачок 6 и ролик 7. Статическая точность устройства составляет 10—15 мкм.

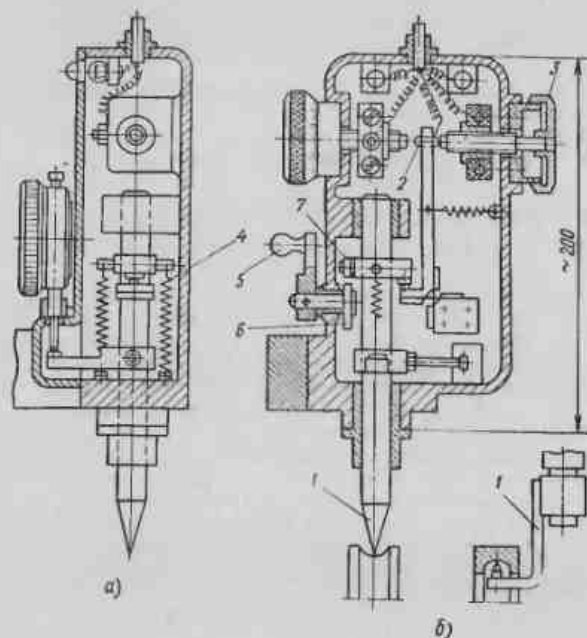


Рис. 47. Устройства для контроля диаметров:  
а — типа БВ-220; б — типа БВ-221

Одноточечные безрычажные устройства применяют и для контроля высот деталей на плоскошлифовальном станке с вращающимся столом (табл. 10). При сферическом наконечнике горизонтальное смещение детали не вносит погрешности измерения. В одном из подобных устройств типа БВ-1005 (рис. 48) шток 1 через промежуточный наконечник 2, подвешенный на плоских пружинах 3 и 4 к корпусу 5, соприкасается с деталью 6. Шток через пластину 7 воздействует на датчик 8 и индикатор. В электрической схеме подача импульса производится с запаздыванием с той целью, чтобы наконечник успел пройти над разрывами шлифуемой поверхности.

Трехточечные безрычажные устройства в большинстве своем имеют вид скоб (рис. 49). Эти приборы базируются по поверхности детали и при перемещении последней полностью следуют за деталью, причем взаимное расположение точек контакта не изменяется. Погрешность измерения возникает лишь тогда, когда деталь будет перемещаться относительно точки контакта. Для того чтобы этого не происходило, нижнюю контактную вставку (базовый наконечник) располагают в точке, смежной вправо относительно вертикальной оси на некоторый угол  $\alpha = 5-10^\circ$ . Кроме базового наконечника 1 скоба имеет опорный наконечник 2 и измерительный шток 3. Диаметр детали контролируется датчиком 5 и индикатором 4.

10. Характеристики устройств активного контроля размеров на плоскошлифовальных станках

Параметры	Тип прибора		
	БВ-4066К	БВ-4111К	БВ-4102
Принцип действия	Пневмоконтактный	Пневмоконтактный	Электроконтактный
Предел измерения по шкале, мм	0,24	0,12; 0,24	—
Погрешность прибора, мм	0,002	0,002	—
Число команд	2	3	1
Подводимое давление воздуха, $\text{мН/м}^2$	0,32—0,69	0,32—0,69	—
Напряжение питания, В	127	127	127/220
Масса, кг	8,2	8,2	1,8
Цена деления шкалы, мм	0,002	0,001 0,002	—

Трехточечные и двухточечные устройства для контроля диаметров валов с гладкой поверхностью выпускают в виде модификаций, приводимых в табл. 11.

В комплект пневматического прибора БВ-6060, предназначенного для контроля диаметров деталей в процессе их обработки на круглошлифовальных станках, входит отчетно-командное устройство мод. БВ-6060 настольного или цитового исполнения и измерительная настольная (БВ-3153) или навесная (БВ-3155) скоба. В комплект индуктивного прибора БВ-4100 помимо отчетно-командного устройства БВ-6053М входит навесная скоба БВ-3154 или настольная БВ-3152 соответствующих пределов измерения, для навесной скобы устройства БВ-4100-2 кронштейн (БВ-Т3046) и для всех скоб индуктивный датчик типа БВ-6067. Пневматический прибор БВ-4009К предназначен для сопряженного шлифования диаметра вала с целью обеспечения заданного зазора (натяга) с сопрягаемой втулкой. В комплект поставляемого прибора входят отчетно-командное устройство, устройство для измерения диаметра отверстия, устройство для измерения диаметра вала, переключатель для изменения рода работ и устройство для крепления скобы на станке. Для комплектования серийных станков выпускают четыре модификации прибора БВ-4009К-1; -2; -3; -4 соответственно к станкам мод. 3Е153, 3Е12, 3Е110 и 3В10. Прибор модели ХШ-9 пред-

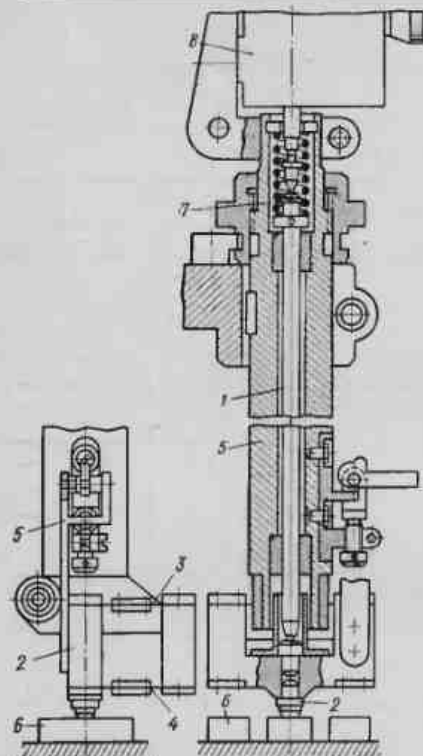


Рис. 48. Устройство для контроля высот деталей, обрабатываемых на плоскошлифовальных станках

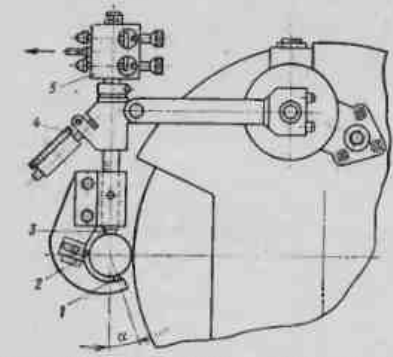


Рис. 49. Трехточечная скоба наклонного типа для контроля диаметров валов

назначен для измерения ряда диаметров в широких пределах без перенастройки двухточечной навесной скобы или по показаниям устройства для контроля перемещения шлифовальной бабки и для выдачи пяти путевых команд при управлении циклом работы станка.

Для контроля диаметров деталей в процессе их обработки на станках (типа 3А151, 3Б151) при шлифовании на проход выпускают быстроперенастраиваемые приборы БВ-4105М и БВ-4101М (упрощенной конструкции), снабженные сменными измерительными призмами с постоянной настройкой заранее установленного диаметра. В комплект приборов входит отсчетное устройство БВ-6060-1-2К, соленоидный клапан, стойка, блокировочное устройство, призмодержатель, сменные призмы и магнит отвода шлифовальной бабки.

Прибор БВ-4066К предназначен для активного контроля размеров по высоте деталей с гладкими и прерывистыми поверхностями в процессе их обработки на плоскошлифовальных станках (типа 3722, 3А740 и др.) с прямоугольным и круглым столами. В комплект прибора входят кронштейн, отсчетно-командное пневматическое устройство, измерительное устройство и командопарат.

Отличие прибора БВ-4111К от предыдущего состоит в возможности выдачи трех команд. Его выпускают в двух вариантах: для автоматической выдачи команд на станок и только для визуального отсчета

## 11. Характеристики устройств активного контроля диаметров валов

Параметры	Тип прибора					
	БВ-6060	БВ-4100	БВ-4009К	ХШ-9	БВ-4105М БВ-4101М	
Пределы измерения, мм, со скобой	настойной	2,5—40, 10—80, 35—125, 125—200	2,5—200	8—125	—	10—70
	навесной	4—40, 10—80, 40—125, 80—200		—	15—85	
Число команд	0; 2; 4	2	2 (4)	5	—	
Цена деления, мкм	2; 1; 5	1 и 10	1	—	2	
Метод измерения	Пневматический	Индуктивный	Пневматический	Емкостной	Пневмоэлектроконтактный	
Подводимое давление воздуха, МПа	0,32—0,59	—	0,32—0,59	—	0,32—0,59	
Напряжение питания, В	127/220	127	127/220	127	—	
Погрешность измерения, мкм	предварительного	—	10	—	—	2
	окончательного	—	0,5	1—3	5	
Измерительное усилие, Н, со скобой	настойной	—	5,9±1	—	—	3,9±0,5
	навесной	—	8,3±0,5	—	6,9±2	
Масса, кг	—	13,7	39,5	26	—	

высоты обрабатываемых деталей. В его комплект (помимо тех же устройств, что и в приборе БВ-4066К), входят реле давления и электронное реле.

Прибор БВ-4102 предназначен только для контроля по высоте деталей с гладкой и прерывистой поверхностью в процессе их обработки на плоскошлифовальных однопроходных станках типа П722-2. В его комплект входит измерительное устройство, установочный кронштейн и электронный блок.

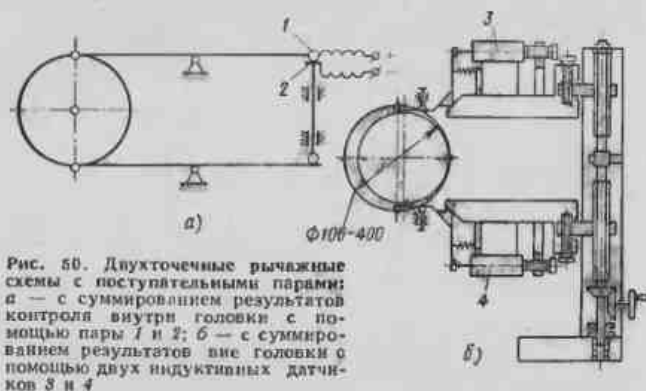


Рис. 50. Двухточечные рычажные схемы с поступательными парами: а — с суммированием результатов контроля внутри головки с помощью пары 1 и 2; б — с суммированием результатов вне головки с помощью двух индуктивных датчиков 3 и 4

Для активного контроля диаметров отверстий и управления циклом на внутришлифовальных станках ЛЗ204 завод ЧИЗ выпускает пневмоэлектроконтактные приборы типа К-50 с пределами измерения 10—35 мм, ценой деления шкалы датчика 0,002 мм, с пределами поднастройки  $\pm 0,05$  мм и массой 26 кг. Прибор может выдавать четыре команды, а в его комплект входит измеритель с механизмом настройки, пневмоэлектроконтактный датчик и электронное реле.

Устройство БВ-3102 предназначено для ввода в работу двухточечных настольных скоб приборов активного контроля на круглошлифовальных станках. Ход поршня может быть равен 60, 100 или 160 мм, а давление масла, подводимого к гидроцилиндру, должно составлять 0,39—0,98 МН/м<sup>2</sup>. Габаритные размеры гидроцилиндра 124 × 46 × 190 мм. Для навесных скоб выпускают подводящее устройство БВ-3046М массой 4 кг, позволяющее крепить измерительное устройство массой 4,2 кг. Наибольший крутящий момент пружины кронштейна составляет 1000 Н·см. Для навесных скоб выпускают устройство БВ-3046М массой 4 кг, позволяющее крепить измерительное устройство массой 4,2 кг. Наибольший крутящий момент пружины кронштейна составляет 1000 Н·см. Для гидравлическим тормозом, обеспечивающим плавный подвод и отвод измерительного устройства. Угол поворота рычага кронштейна составляет 60°, масса кронштейна 6 кг.

Одноточечные рычажные устройства применяют для активного контроля валов, отверстий, плоских и других деталей. Смещение детали в направлении линии измерений будет во всех случаях вызывать значительную погрешность измерения, тангенциальное же перемещение детали будет вызывать тем меньшую погрешность, чем больше радиус контакта при контроле диаметров валов и меньше радиус контакта при контроле диаметров отверстий. При контроле плоских деталей это смещение не сказывается на результатах контроля. Второе плечо рычага либо соприкасается с наконечником датчика, либо несет на своем конце электрический контакт, замыкающийся при окончании процесса обработки с другим неподвижным контактом. Одноточечные рычажные устройства обладают невысокой точностью, и поэтому их применяют при относительно грубых операциях.

Двухточечные рычажные схемы (рис. 50) применяют в большинстве устройств для активного контроля отверстий, а также для контроля

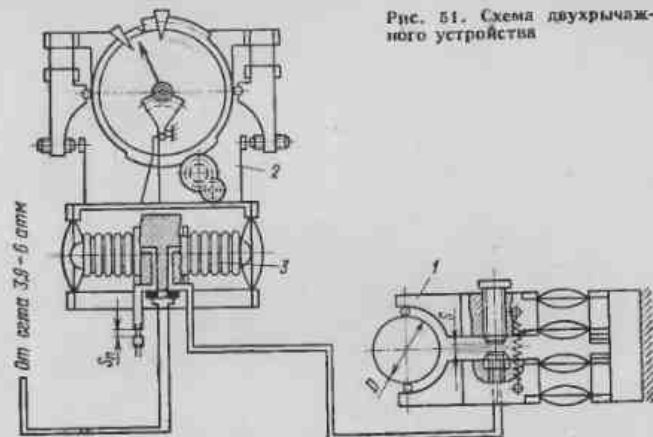


Рис. 51. Схема двухрычажного устройства

валов. Эти устройства успешно конкурируют с трехточечными скобами, так как почти не уступают последним по точности и, кроме того, для них характерны простота автоматического ввода устройства в работу, в том числе возможность ввода его незадолго перед завершением процесса; возможность верхней автоматической загрузки деталей; меньшая загруженность рабочей зоны станка; отсутствие подшипников скольжения у штоков и возможность применения в условиях обильной смазки; возможность контроля диаметров валов менее 5 мм.

К недостаткам этих устройств относят продолжительность перенастройки при изменении контролируемых диаметров; загруженность передней части станка; влияние перемещения детали при обработке на точность измерения.

Общая схема с двумя рычагами и неподвижными шарнирами. Приборы, построенные по двухрычажной схеме, благодаря простоте конструкции, малой массе и малым габаритным размерам могут обеспечить высокую точность контроля, но для этого необходимо выбрать определенным образом их параметры.

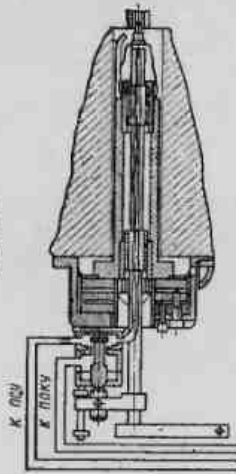
При идеальной двухточечной схеме изменение положения детали не вызывает ошибки контролируемого размера. Целесообразнее выбрать параметры схемы так, чтобы в известных пределах изменение положения детали влекло за собой одинаковый и одного знака поворот обоих контактных рычагов устройства, хотя теоретически неравенство углов поворота рычагов можно скомпенсировать соответствующим изменением параметров схемы, например длин рычагов. Если же принцип равных углов не соблюдается, то путем графического построения зависимостей углов поворота рычага  $\epsilon = j(\Delta)$  можно определить допустимую величину смещения детали  $\Delta$ .

К разновидностям схем с двумя рычагами следует отнести настольный прибор типа БВ-1096 (рис. 51) для контроля диаметров валов при шлифовании, состоящий из головки 1, устанавливаемой на столе

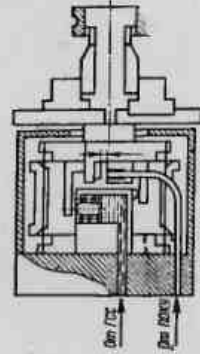
## 12. Устройства активного контроля размеров деталей в процессе их обработки, применяемые в производстве подшипников

Тип устройства/модель станка; вид схемы головки, ее габариты, мм

ПК/61



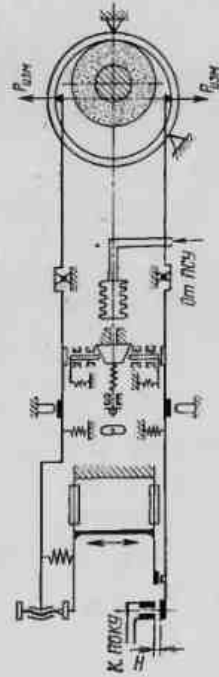
ПК/«Свайл-200»



238 × 105 × 205

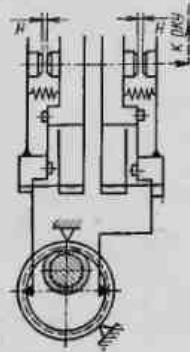
Габариты закрывают от детали

ПК/БС65М



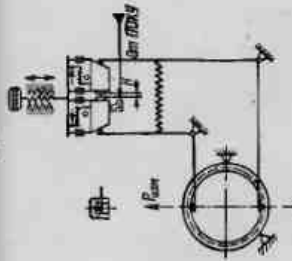
257 × 135 × 118

ИНД/«Новоматик» P10/60



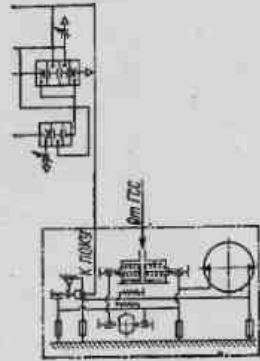
250 × 80 × 70

ПК/ЖН-52



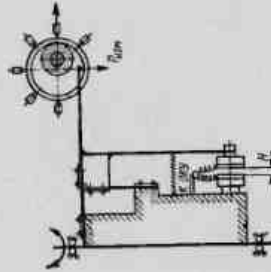
125 × 180 × 260

ПК/3483В



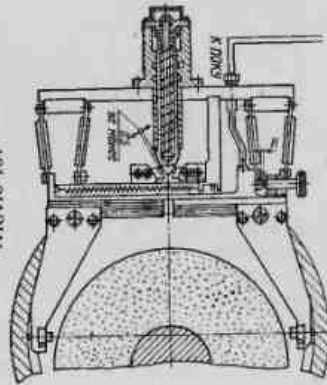
60 × 230 × 248

ИНД/«Новорез»



165 × 70 × 95

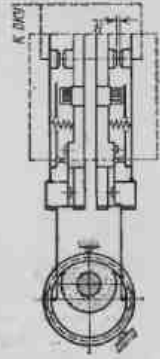
ПК/Л3-161



255 × 120 × 326

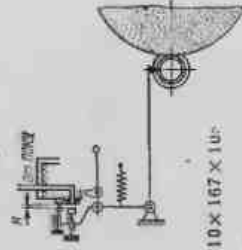
Тип устройства/модель станка; вид схемы/головки, ее габариты, мм

ИНД/ЛЗ-8



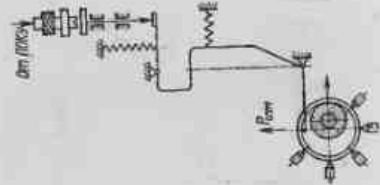
250 × 90 × 70

ПК/ЛЗ-9ПА

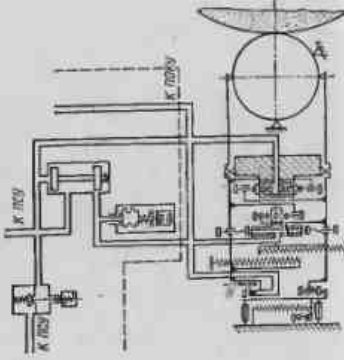


310 × 167 × 100

ПК/ЖН-52 и др.

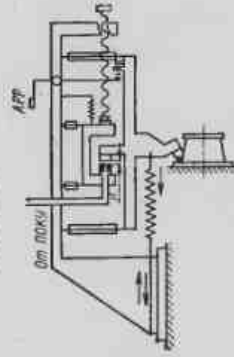
270 × 240 × 345  
490 × 300 × 500

ПК/З474В, ГП



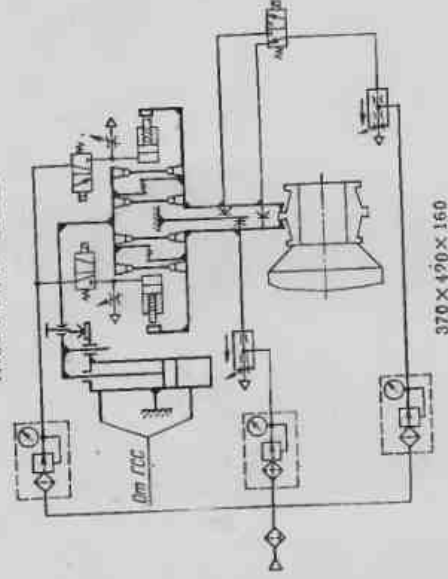
248 × 144 × 118

ПК/БС-172



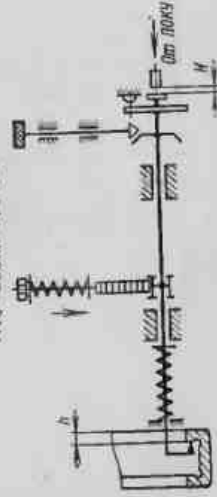
75 × 135 × 210

ПК/ВТ-34,41, ХШБ-23



370 × 490 × 160

ПК/«Сваран»-БД-250\*

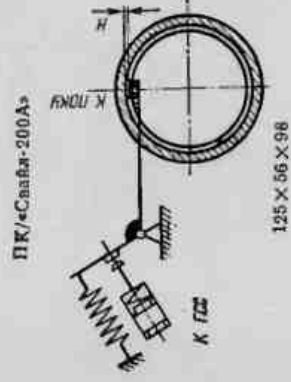
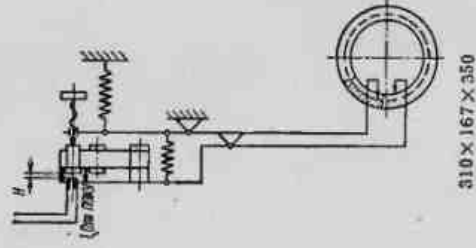


332 × 114 × 260



Тип устройства/модель станка; вид съемки головки, ее габариты, мм

ПК/мод. 58



Тип устройства/модель станка	Модель устройства/осветного блока	Проекты/Изготовитель	Пределы измерения, мм/погрешность измерения, мкм
ПК/61	БВ-4052/БВ-6017.4К	БВ/БВ	D 5—25/1
ПК/6С69М	6К78М1/УВ600М-02	ОКБ/«Калибр»	D 20—80/2
ПК/«Свайл-200»	П136/БВ-6017.4К	ГПЗ/ГПЗ	D 10—250/2
ИНД/«Новоматню Р10/60	КЭ-205/КЭ-205	ВНИИП/ВНИИП	D 10—60/1
ПК/3483В	КУ33/КУ33.02	ОКБ/«Калибр»	D 20—40/2
ИНД/«Новорез»	П-100/«Нова»	ГПЗ/ГПЗ	D 16—30/2
ПК/ЖН-52	П-109/БВ-6017.4К	ГПЗ/ГПЗ	D 48—100/2
ПК/ЛЗ-161	БВ-4058М/БВ-6017.4К	БВ/«Калибр»	D 130—290/2
ИНД/ЛЗ-8	КЭ-202, П-123, 17-124, 7113-1/КЭ-202	ВНИИП/ВНИИП	D 40—150/2
ПК/ЖН-52 и др.	П-68М5/БВ-6014.4К	ГПЗ/ГПЗ	D 25—250/2



В табл. 12 приведены характеристики устройств активного контроля размеров деталей в процессе их обработки, применяемые в производстве подшипников.

## 11. АУТОПОДНАЛАДЧИКИ И АУТОБЛОКИРОВЩИКИ

При невозможности осуществления контроля непосредственно в процессе обработки или при отсутствии необходимости контроля всех деталей применяют автоподналадчики, располагаемые на станке или с ним рядом. Подобные устройства имеют много органов, общих с автоматическими системами. Так, например, транспортирующие и устанавливающие устройства измерительной позиции и рассортировки подналадчиков сходны с соответствующими элементами контрольных систем. Исполнительный механизм подналадчиков перемещает либо режущий инструмент, либо упор. Имеются подналадчики, которые осуществляют подналадку не по одной детали, а по среднему размеру группы измеренных деталей.

Для бесцентрово-шлифовальных станков, на которых обработка дорожек качения внутренних колец конических роликовых подшипников производится «на врезание», разработан подналадчик типа ОКБ-1111, статическая погрешность которого составляет  $\pm 0,003$  мм.

Для черновых бесцентрово-шлифовальных станков, работающих «на проход», спроектированы подналадчик ОКБ-1140 (для автомата 6С71, обрабатывающего наружные кольца железнодорожных роликоподшипников диаметром 220—280 мм), имеющий статическую погрешность  $\pm 0,003$  мм; подналадчик ОКБ-1141 (для автомата 6С136, обрабатывающего поршневые кольца и толкатели клапанов диаметром 20—40 мм), имеющий статическую погрешность  $\pm 0,003$  мм; подналадчик ОКБ-1012Б (для автоматов по обработке клапанов с диаметром стержня 6—16 мм), имеющий статическую погрешность  $\pm 0,002$  мм, и др.

Для торцешлифовальных автоматов, на которых обрабатываются «на проход» одновременно оба торца колец ( $\varnothing$  30—160 мм и высотой 12—50 мм), предназначен подналадчик ОКБ-1377, осуществляющий со статической точностью  $\pm 0,003$  мм контроль и подналадку по высоте положений торцов обоих шлифовальных кругов, поддерживая не только заданный размер, но и положение средней плоскости пространства между кругами.

Большая группа автоматических систем производит помимо операции подналадки последующую рассортировку изделий на годные и бракованные. Так, автомат ОКБ-Л51К1 контролирует толщину дна и высоту заготовки кольца карданных подшипников после их выдавливания на прессе; автомат ОКБ-Л52К1 контролирует несколько высот и диаметров заготовок колец карданных подшипников после их обработки на токарных станках КА76 в автоматической линии, а автомат ОКБ-Л54К1 — после обработки наружных диаметров колец карданных подшипников на бесцентровошлифовальном станке автоматической линии; автомат ОКБ-1171Б контролирует прутки диаметром 1—6 мм, длиной 1,5—2,5 м по диаметру после их шлифования на бесцентрово-

шлифовальном станке (статическая погрешность  $\pm 0,002$  мм), а автомат ОКБ-1403 — прутки диаметром 10—50 мм, длиной 2—6 м также по диаметру на бесцентрово-шлифовальном станке; автомат ОКБ-Л68К2 контролирует наружный диаметр цилиндрических деталей после их чистовой обработки на бесцентрово-шлифовальном станке-автомате 6С136 и др.

В ОКБ также разработана группа автоблокировщиков, которые осуществляют не только блокировку станков при нарушении технологического процесса, но и рассортировывают изделия на годные и бракованные. К подобным устройствам следует отнести автомат ОКБ-Л53К1 для контроля отверстий заготовок колец карданных подшипников после термической обработки; автомат ОКБ-Л45К2 для контроля кривизны оси катка трактора после термической обработки и др.

## ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ



### 1. ЦЕЛИ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

Обработка результатов измерений широко применяется в производственной практике с целью установления соответствия точности выбранного технологического процесса заданной точности изделия; установления технологических допусков; определения статистических характеристик установочных и выборочных партий деталей, т. е. при статистическом контроле и регулировании качества продукции; установления точностных характеристик совокупности машин или приборов определенного типа и т. д.

При изготовлении партии деталей неизбежно происходит рассеяние их размеров. Поэтому результат измерения конкретной детали является случайной величиной. Вследствие этого для обработки результатов измерений используют методы теории вероятностей и математической статистики, позволяющие находить статистические параметры эмпирического распределения, а также устанавливать параметры теоретического распределения, которое наиболее близко соответствует исследуемому эмпирическому распределению.

Приводимые в справочнике материалы могут быть использованы только для элементарного анализа технологического процесса или процесса измерения. При более углубленном анализе следует пользоваться специальной литературой по математической статистике.

### 2. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

Как при изготовлении, так и при измерении возникают систематические и случайные погрешности.

*Систематическими* называют погрешности, постоянные по величине и знаку или изменяющиеся по определенному закону в зависимости от характера неслучайных факторов. Постоянные систематические погрешности могут быть следствием действия ограниченного числа доминирующих факторов (например, неточной настройки оборудования, погрешности измерительного прибора и приспособления, отклонения рабочей температуры от нормальной, силовых деформаций и т. п.). Постоянная систематическая погрешность измерения возникает также от ошибки установочной меры и от отсчета по неправильно градуированной шкале. Такая погрешность при сохранении условий опыта имеет одну и ту же величину для каждой изготовленной или измеренной детали в партии. Примером переменной систематической погрешности является возрастающая погрешность обработки, вызываемая износом режущего инструмента.

Во многих случаях причины систематических погрешностей могут быть обнаружены и устранены. Систематические погрешности измерения могут быть полностью или частично устранены, например, при помощи поправочной таблицы к неправильно градуированной шкале прибора или путем определения средней арифметической величины из нескольких отсчетов в противоположных положениях (например, при измерении шага и половины угла профиля резьбы). Систематические погрешности изготовления, которые трудно устранить, должны учитываться допуском на размер и форму детали.

*Случайными* называют переменные по величине и знаку погрешности, которые возникают при изготовлении или измерении и принимают то или иное числовое значение в зависимости от ряда случайных действующих причин. Характерным их признаком является вариация значений, принимаемых ими в повторных опытах. Эти погрешности вызываются множеством изменяющихся случайным образом факторов таких, как припуск на обработку, механические свойства материала, сила резания, измерительная сила, различная точность установок деталей на измерительную позицию и другие, причем в общем случае ни один из этих факторов не является доминирующим.

Случайные погрешности (изготовления, измерения) являются случайными величинами. Примеры случайных величин: размеры деталей при обработке, зазоры в подвижных соединениях, результаты повторных измерений одной и той же величины.

Случайные погрешности трудно устранить, поэтому их влияние учитывают при назначении допуска на размер или на какой-либо другой параметр.

Появление того или иного числового значения случайной величины в результате массового испытания рассматривается как случайное событие.

Отношение числа  $n$  случаев появления случайной величины или события  $A$  к числу  $N$  всех произведенных испытаний, при которых это событие могло появиться, называют частотой, или относительной частотой  $W(A) = n/N$ .

При большом числе испытаний  $N$  обнаруживается устойчивость значения указанного отношения для большого класса случайных событий. Для таких событий величина  $W(A)$  для события  $A$  будет колебаться около некоторого постоянного числа. Это число, меньшее единицы, называют вероятностью  $P(A)$  появления события  $A$ , т. е.  $P(A)$  является мерой объективной возможности появления события  $A$ .

Вероятность достоверного события равна единице, невозможного события — нулю.

За приближенное значение вероятности  $P(A)$  события  $A$  при достаточно большом числе испытаний можно принимать частоту (относительную частоту), т. е.

$$P(A) \approx W(A) = \frac{n}{N}. \quad (1)$$

Частота  $W(A)$  принципиально отличается от вероятности  $P(A)$  тем, что представляет собой случайную величину, которая в различных сериях однотипных испытаний может принимать в зависимости от случайных факторов различные значения, тогда как вероятность  $P(A)$  представляет постоянное для каждого данного события число, определяющее в среднем частоту его появления в опытах,

По мере увеличения  $N$  частота со все большим приближением выражает вероятность.

Зависимость между числовыми значениями случайной величины и вероятностью их появления устанавливается законом распределения вероятностей случайных величин. Закон распределения вероятностей *дискретной* (т. е. прерывистой) случайной величины можно представить в виде таблицы или графика, показывающего, с какой вероятностью случайная величина  $X$  принимает то или иное числовое значение  $x_i$ .

Закон распределения вероятностей *непрерывной* случайной величины (т. е. переменной величины, которая может принимать любое значение в пределах рассматриваемого интервала) нельзя выразить

в виде таблицы. Для характеристики такого закона в технике наиболее часто используют дифференциальную функцию распределения или плотность распределения вероятности  $p_X(x)$ , т. е. функцию, представляющую собой предел отношения вероятности того, что случайная величина  $X$  примет значение, лежащее в интервале от  $x$  до  $x + \Delta x$ , к величине интервала  $\Delta x$  при  $\Delta x$ , стремящемся к нулю. Характер рассеяния большой совокупности значений случай-

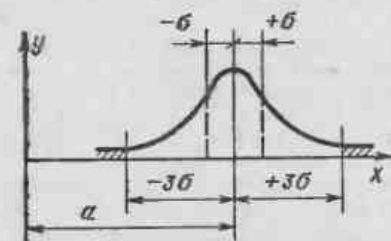


Рис. 1. Кривая плотности вероятности нормального распределения

ной величины обычно примерно соответствует какому-либо теоретическому закону распределения.

Рассеяние значений случайной величины, изменение которой зависит от большого числа факторов, когда ни один из факторов не имеет преобладающего значения, подчиняется *закону нормального распределения вероятностей (закону Гаусса)*. Этому закону с некоторым приближением может подчиняться рассеяние погрешностей изготовления или измерения линейных и угловых размеров, погрешностей массы деталей, величин твердости и других механических и физических величин, характеризующих свойства материалов.

Случайные погрешности, подчиняющиеся закону нормального распределения, характеризуются следующим: малые по величине погрешности встречаются чаще, чем большие; отрицательные и положительные погрешности, равные по абсолютной величине, встречаются одинаково часто; алгебраическая сумма отклонений от среднего значения равна нулю.

Кривая, изображающая плотность вероятности для нормального закона распределения (рис. 1), определяется уравнением

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

где  $\mu$  и  $\sigma$  — параметры распределения;  $x$  — аргумент функции плотности вероятности, т. е. случайная величина;  $-\infty < x < \infty$ ;  $e$  — основание натурального логарифма.

Кривая плотности вероятности нормального распределения симметрична относительно максимальной ординаты. Величина параметра  $\sigma$

равна *математическому ожиданию*  $MX$  случайной величины  $X$ , определяемому по формулам:

для дискретной величины

$$MX = \sum_{i=1}^k x_i p(x_i), \quad (3)$$

где  $x_i$  — возможное значение дискретной случайной величины;  $P(x_i)$  — вероятность значения  $x_i$  дискретной случайной величины;

для непрерывных величин

$$MX = \int_{-\infty}^{\infty} x p_X(x) dx, \quad (4)$$

где  $p_X(x)$  — плотность вероятности непрерывной случайной величины  $X$ .

Значение  $MX$  характеризует положение центра группирования случайных величин, около которого располагаются, например, размеры большинства деталей в партии. При отсутствии систематических погрешностей в результатах многократных измерений одной и той же величины в одних и тех же условиях математическое ожидание можно рассматривать как наибольшее приближение к истинному значению измеряемой величины, т. е. к значению, свободному от ошибок измерения.

При анализе характера рассеяния размеров деталей, обрабатываемых на станке, математическое ожидание можно рассматривать как размер, на который был настроен станок.

Параметр  $\sigma$  называют *средним квадратическим отклонением случайной величины*, его определяют по формулам:

для дискретной величины

$$\sigma_X = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - MX)^2 p(x_i)}, \quad (5)$$

для непрерывной величины

$$\sigma_X = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (x - MX)^2 p_X(x) dx}. \quad (6)$$

Среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  характеризует величину рассеяния значений случайной величины относительно центра группирования. Рассеяние случайных величин характеризуется также дисперсией  $DX = \sigma_X^2$ .

Формула (2) выражает уравнение кривой и значение  $\sigma$ , если начало отсчета расположено на оси  $X$  произвольно.

При совпадении центра группирования с началом отсчета величины  $x$  уравнение кривой нормального распределения будет иметь вид

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}. \quad (7)$$

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОГО ПРОЦЕНТА ДЕТАЛЕЙ В ПАРТИИ, ИМЕЮЩИХ ПОГРЕШНОСТИ, ВЕЛИЧИНЫ КОТОРЫХ ЛЕЖАТ В КАКОМ-ЛИБО ЗАДАННОМ ИНТЕРВАЛЕ

Ветви теоретической кривой нормального распределения (см. рис. 1) уходят в бесконечность, асимптотически приближаясь к оси абсцисс. Площадь, ограниченная кривой и осью абсцисс, равна вероятности того, что случайная величина (например, погрешность размера) лежит

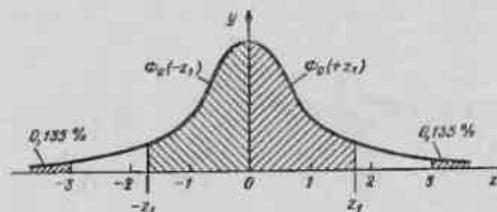


Рис. 2. Кривая нормального распределения и графическое изображение значений

в интервале от  $-\infty$  до  $+\infty$ . Ее принимают равной 1 (или 100%), и она определяется интегралом

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = 1 \quad (8)$$

(начало координат расположено в точке, совпадающей с центром группирования).

Так как подынтегральная функция четная и кривая симметрична относительно максимальной ординаты, можно написать

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{+\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = 0,5. \quad (9)$$

Для выражения случайной величины  $x$  в долях ее  $\sigma$  примем  $x/\sigma = z$ , откуда  $x = \sigma z$ ,  $dx = \sigma dz$ .

В этом случае абсцисса на рис. 2 будет выражена в долях  $\sigma$ .

Если принять за пределы интегрирования 0 и  $z$ , то интеграл в выражении (9) будет функцией  $z$ , т. е.

$$\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z'^2}{2}} dz'. \quad (10)$$

Функцию  $\Phi_0(z)$  называют нормированной функцией Лапласа:

$$\begin{aligned} \Phi_0(0) &= 0; \quad \Phi_0(-z) = -\Phi_0(z), \\ \Phi_0(-\infty) &= -0,5; \quad \Phi_0(+\infty) = 0,5. \end{aligned}$$

#### 1. Значения интеграла $\Phi(z)$

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z'^2}{2}} dz'$$

$\Phi_0(z)$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$
0,00	0,0000	0,56	0,2133	1,12	0,3686	1,68	0,4536
0,01	0,0040	0,57	0,2157	1,13	0,3708	1,69	0,4545
0,02	0,0080	0,58	0,2190	1,14	0,3729	1,70	0,4554
0,03	0,0120	0,59	0,2224	1,15	0,3794	1,71	0,4561
0,04	0,0160	0,60	0,2257	1,16	0,3770	1,72	0,4573
0,05	0,0199	0,61	0,2291	1,17	0,3790	1,73	0,4582
0,06	0,0239	0,62	0,2324	1,18	0,3810	1,74	0,4591
0,07	0,0279	0,63	0,2357	1,19	0,3830	1,75	0,4599
0,08	0,0319	0,64	0,2389	1,20	0,3849	1,76	0,4608
0,09	0,0359	0,65	0,2422	1,21	0,3869	1,77	0,4616
0,10	0,0398	0,66	0,2454	1,22	0,3888	1,78	0,4625
0,11	0,0438	0,67	0,2486	1,23	0,3907	1,79	0,4633
0,12	0,0478	0,68	0,2517	1,24	0,3925	1,80	0,4641
0,13	0,0517	0,69	0,2549	1,25	0,3944	1,81	0,4649
0,14	0,0557	0,70	0,2580	1,26	0,3962	1,82	0,4656
0,15	0,0596	0,71	0,2611	1,27	0,3980	1,83	0,4664
0,16	0,0636	0,72	0,2642	1,28	0,3997	1,84	0,4671
0,17	0,0675	0,73	0,2673	1,29	0,4015	1,85	0,4678
0,18	0,0714	0,74	0,2703	1,30	0,4032	1,86	0,4686
0,19	0,0753	0,75	0,2734	1,31	0,4049	1,87	0,4693
0,20	0,0793	0,76	0,2764	1,32	0,4066	1,88	0,4699
0,21	0,0832	0,77	0,2794	1,33	0,4082	1,89	0,4706
0,22	0,0871	0,78	0,2823	1,34	0,4099	1,90	0,4713
0,23	0,0910	0,79	0,2852	1,35	0,4115	1,91	0,4719
0,24	0,0948	0,80	0,2881	1,36	0,4131	1,92	0,4726
0,25	0,0987	0,81	0,2910	1,37	0,4147	1,93	0,4732
0,26	0,1026	0,82	0,2939	1,38	0,4162	1,94	0,4738
0,27	0,1064	0,83	0,2967	1,39	0,4177	1,95	0,4744
0,28	0,1103	0,84	0,2995	1,40	0,4192	1,96	0,4750
0,29	0,1141	0,85	0,3023	1,41	0,4207	1,97	0,4756
0,30	0,1179	0,85	0,3051	1,42	0,4222	1,98	0,4761
0,31	0,1217	0,87	0,3078	1,43	0,4236	1,99	0,4767
0,32	0,1255	0,88	0,3106	1,44	0,4251	2,00	0,4772
0,33	0,1293	0,89	0,3133	1,45	0,4265	2,02	0,4783
0,34	0,1331	0,90	0,3159	1,46	0,4279	2,04	0,4793
0,35	0,1368	0,91	0,3186	1,47	0,4292	2,06	0,4803
0,36	0,1406	0,92	0,3212	1,48	0,4306	2,08	0,4812
0,37	0,1443	0,93	0,3238	1,49	0,4319	2,10	0,4821
0,38	0,1480	0,94	0,3264	1,50	0,4332	2,12	0,4830
0,39	0,1517	0,95	0,3289	1,51	0,4345	2,14	0,4838
0,40	0,1554	0,96	0,3315	1,52	0,4357	2,16	0,4846
0,41	0,1591	0,97	0,3340	1,53	0,4370	2,18	0,4854
0,42	0,1628	0,98	0,3365	1,54	0,4382	2,20	0,4861
0,43	0,1664	0,99	0,3389	1,55	0,4394	2,22	0,4868
0,44	0,1700	1,00	0,3413	1,56	0,4406	2,24	0,4875
0,45	0,1736	1,01	0,3438	1,57	0,4418	2,26	0,4881
0,46	0,1772	1,02	0,3461	1,58	0,4429	2,28	0,4887
0,47	0,1808	1,03	0,3485	1,59	0,4441	2,30	0,4893
0,48	0,1844	1,04	0,3508	1,60	0,4452	2,32	0,4898
0,49	0,1879	1,05	0,3531	1,61	0,4463	2,34	0,4904
0,50	0,1915	1,06	0,3554	1,62	0,4474	2,36	0,4909
0,51	0,1950	1,07	0,3577	1,63	0,4484	2,38	0,4913
0,52	0,1985	1,08	0,3599	1,64	0,4495	2,40	0,4918
0,53	0,2019	1,09	0,3621	1,65	0,4505	2,42	0,4922
0,54	0,2054	1,10	0,3643	1,66	0,4515	2,44	0,4927
0,55	0,2088	1,11	0,3665	1,67	0,4525	2,46	0,4931

Продолжение табл. 1

$z$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$	$z$	$\Phi(z)$
2,48	0,4934	2,66	0,4961	2,84	0,4977	3,00	0,49865
2,50	0,4938	2,68	0,4963	2,86	0,4979	3,20	0,49931
2,52	0,4941	2,70	0,4965	2,88	0,4980	3,40	0,49966
2,54	0,4945	2,72	0,4967	2,90	0,4981	3,60	0,499841
2,56	0,4948	2,74	0,4969	2,92	0,4982	3,80	0,499928
2,58	0,4951	2,76	0,4971	2,94	0,4984	4,00	0,499968
2,60	0,4953	2,78	0,4973	2,96	0,4985	4,50	0,499997
2,62	0,4956	2,80	0,4974	2,98	0,4986	5,00	0,499997
2,64	0,4959	2,82	0,4976				

Из формулы (10) и рис. 2 следует, что площадь, ограниченная отрезком  $-z_1 + z_1$  оси абсцисс, кривой плотности вероятности и двумя ординатами, соответствующими границам отрезка, представляет собой вероятность попадания случайной величины  $z_1$  в данный интервал.

Для функции  $\Phi_0(z)$  в табл. 1 приведены данные, пользуясь которыми можно определить вероятность того, что случайная величина  $x$ , выраженная через  $\sigma$ , будет находиться в пределах того или иного интервала  $\pm z_1\sigma$ . Например, из табл. 1 находим, что при  $z_1 = 3$  (т. е. при случайной величине  $x = 3\sigma$ )  $\Phi_0(3) = 0,49865$  или  $\Phi_0(-3) - \Phi_0(3) = 2\Phi_0(3) = 0,9973$ .

Так как площадь, ограниченная кривой Гаусса и осью абсцисс, равна 1, то площадь, лежащая за пределами значений  $x = \pm 3\sigma$ , равна  $1 - 0,9973 = 0,0027$  и расположена симметрично по 0,00135 (или по 0,135%) справа и слева относительно оси  $y$  (см. рис. 2). Следовательно, с вероятностью, весьма близкой к единице, можно утверждать, что случайная величина  $X$  не будет выходить за пределы  $\pm 3\sigma$ . Поэтому при распределении случайной величины по закону Гаусса поле рассеяния, равное

$$V_{\text{lim}} = 6\sigma \quad (\text{т. е. от } -3\sigma \text{ до } +3\sigma), \quad (11)$$

принимают за практически предельное поле рассеяния случайной величины. При этом вероятность выхода случайной величины за пределы значений  $\pm 3\sigma$  равна 0,0027.

Распределение вероятностей значений случайной величины может соответствовать не только закону нормального распределения. Существует ряд теоретических законов, которые также могут быть использованы для изучения действительных распределений, например закон эксцентриситета (закон Максвелла), соответствующий эмпирическому распределению значений случайной величины, принимающей только положительные значения, т. е. такой существенно положительной величины, как эксцентриситет, биение, дисбаланс (рис. 3) с теоретическим

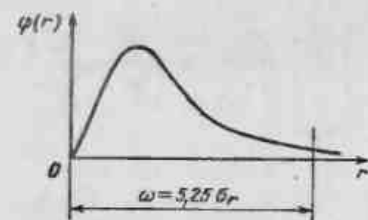


Рис. 3. Кривая плотности вероятности по закону Максвелла

диапазоном рассеяния  $V = 5,25\sigma$ ; закон равной вероятности, соответствующий распределению некоторых ошибок измерения, вызываемых, например, округлениями отсчета показаний прибора с  $V = 2\sqrt{3}\sigma$  и др.

Кроме упомянутых выше законов распределения, при изучении прочности и долговечности механических устройств применяют законы логарифмически нормального распределения, двойного показательного, закон Вейбулла и др.

#### 4. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТОЧНОСТИ

В условиях производства из-за ограниченности числа результатов измерений при обработке вместо математического ожидания и дисперсии получают их приближенные статистические оценки — соответственно эмпирическое среднее  $\bar{x}$  и эмпирическую дисперсию  $s^2$ , характеризующие средний результат измерений и степень разброса результатов.

Их определяют по формулам:

$$\bar{x} = \frac{x_1 n_1 + x_2 n_2 + \dots + x_k n_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} = \sum_{i=1}^k x_i \frac{n_i}{N}; \quad (12)$$

$$s \approx \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 \frac{n_i}{N}}. \quad (13)$$

В этих выражениях  $x_i$  — значение, соответствующее середине  $i$ -го интервала, а  $k$  — число интервалов, выбираемое в пределах от 8 до 15 в зависимости от размаха  $R$  действительных размеров и принятой величины интервала. Размах  $R$  равен разности между наибольшим и наименьшим размерами деталей в партии (Германия «размах» и его обозначение буквой  $R$  установлено ГОСТ 15893—77).

Чем меньше величина  $s$ , тем выше точность изготовления (или измерения), т. е. тем меньше величины случайных погрешностей изготовления (измерения). Поэтому параметр  $s$  используют в качестве меры точности процесса изготовления или при повторных измерениях одной и той же величины в качестве меры точности метода измерения.

Рассмотрим совокупность случайных величин, подчиняющихся закону нормального распределения и критериев, при помощи которых можно установить, что рассматриваемое эмпирическое распределение наилучшим образом соответствует именно этому закону. Ограничимся случаем, когда при контроле в партии деталей какого-либо размера мы рассматриваем совокупность значений дискретной случайной величины, т. е. совокупность действительных значений размера или значений погрешностей размера.

Обработка результатов измерения. Методику статистической обработки результатов измерения рассмотрим на примере, когда определяют дискретные значения измеряемой величины.

## 2. Пример обработки результатов измерения

Интервалы действительных размеров $d_i$ , мм	Значение середины интервалов $x_i$ , мм	Частота $n_i$ , шт.	Отклонение от среднего $x_i - \bar{x}$ , мм	Относительная частота (частость) $n_i/N$
От 11,915 до 11,925	11,920	2	-0,04	0,01
Сл. 11,925 > 11,935	11,930	6	-0,03	0,03
> 11,935 > 11,945	11,940	20	-0,02	0,10
> 11,945 > 11,955	11,950	48	-0,01	0,24
> 11,955 > 11,965	11,960	56	0,00	0,28
> 11,965 > 11,975	11,970	34	+0,01	0,17
> 11,975 > 11,985	11,980	20	+0,02	0,10
> 11,985 > 11,995	11,990	12	+0,03	0,06
> 11,995 > 12,005	12,000	2	+0,04	0,01
$\bar{x} = 11,96$	—	200	—	$\sum \frac{n_i}{N} = 1$

Пример. Необходимо оценить точность изготовления валков  $\varnothing 12-0,07$  (12h10), обработанных на токарно-револьверном станке. Результаты измерения 200 валков приведены в табл. 2. Валлики имели размеры от  $d_{\min} = 11,915$  мм до  $d_{\max} = 12,005$  мм.  $R = d_{\max} - d_{\min} = 12,005 - 11,915 = 0,09$  мм. Этот размах в данном примере разбит на девять интервалов, т. е.  $k = 9$ . Дальнейший порядок обработки виден из построенной таблицы.

$$\bar{x} = \frac{11,922 + 11,936 + \dots + 12,2}{200} = 11,96 \text{ мм};$$

$$s = \sqrt{(-0,04)^2 \cdot 0,01 + (-0,03)^2 \cdot 0,03 + \dots + (0,04)^2 \cdot 0,01} = 0,015 \text{ мм}$$

Исключение из совокупности резко отличающихся результатов наблюдений. Наблюдения, вызванные невнимательностью контролера, а также другими причинами, нарушающими нормальные условия получения опытных данных, называют промахами (или грубыми ошибками). Такие наблюдения резко отличаются от среднего результата для данной серии.

При наличии промахов причины их должны быть проанализированы. Наблюдение, которое может быть промахом, исключают из совокупности, а оставшиеся наблюдения снова обрабатывают и получают новые значения  $x_i$  и  $n_i$ .

При предварительных расчетах за грубые погрешности можно принимать погрешности (отклонения от  $\bar{x}$ ), превосходящие по абсолютной величине  $3\sigma$ .

Гистограмма и эмпирическая кривая распределения. Характер рассеяния значений случайной величины, которой в рассматриваемом примере является действительный размер валика (см. табл. 1) более наглядно определяется гистограммой, состоящей из прямоугольников, или эмпирической кривой (которую также называют полигоном) распределения (рис. 4).

По оси абсцисс откладывают интервалы действительных размеров валков в миллиметрах, а по оси ординат — высоты прямоугольников

(для гистограммы) или отрезки  $n_i$  (для кривой), величины которых при равных интервалах пропорциональны числу деталей (2, 6, 20 и т. д.) в каждом интервале, т. е. пропорциональны частотам  $n_i$  или частостям  $n_i/N$ .

## 5. ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ЗАКОНЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Для анализа результатов измерения случайных величин необходимо знать, какому теоретическому закону распределения вероятностей случайной величины соответствует эмпирическое распределение. Для этого исходя из формы эмпирической кривой, из эмпирических значений параметров и факторов, влияющих на ее вид, выдвигается гипотеза о соответствии ее тому или иному теоретическому закону распределения. Соответствие эмпирического распределения предполагаемому теоретическому распределению устанавливается при помощи критериев  $\chi^2$  ( $\chi$  квадрат), Колмогорова и др. (см. ГОСТ 11.006—74).

Сравнение характеристик эмпирического и теоретического распределений случайных величин. Параметры  $\bar{x}$  и  $s$ , определенные по данным выборки, дают лишь приближенную характеристику точности генеральной совокупности исследуемых объектов. Характеристикой рассеяния значений случайной величины в генеральной совокупности служат математическое ожидание  $MX$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ .

Между вероятностными характеристиками  $MX$  и  $\sigma$  и их эмпирическими аналогами  $\bar{x}$  и  $s$  необходимо проводить четкое разграничение: первые рассматриваются как постоянные, но неизвестные величины, характеризующие генеральную совокупность, а вторые, являясь случайными величинами и будучи определены из выборочных наблюдений, дают лишь приближенную оценку  $MX$  и  $\sigma$ . Чем больше объем выборки, т. е. число наблюдений, тем меньше разница между  $MX$  и  $\bar{x}$ , а также между  $\sigma$  и  $s$ .

По результатам выборок и их объему можно лишь установить границы, внутри которых с определенной, заданной исходя из эксплуатационных требований вероятностью, будут находиться значения параметров генеральной совокупности. Эти границы определяют так называемый доверительный интервал, а соответствующую этому интервалу вероятность называют доверительной вероятностью или надежностью. В данном разделе будем применять термин «надежность» именно в этом смысле. Для нормального распределения таким доверительным интер-

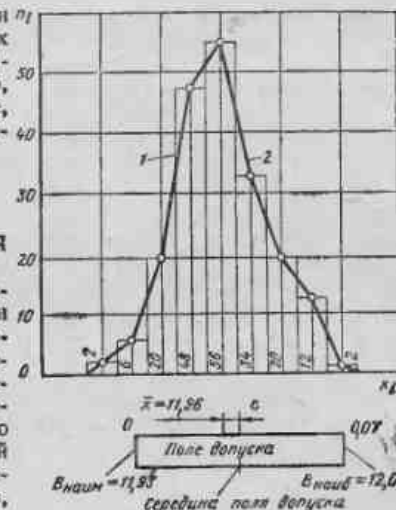


Рис. 4. Гистограмма (1) и эмпирическая кривая распределения (2) значений случайной величины



вадом, например, для математического ожидания  $MX$  будет интервал, имеющий границы  $MX \pm 3\sigma_{\bar{X}}$ , где  $\sigma_{\bar{X}}$  — среднее квадратическое отклонение для распределения величины  $\bar{X}$ . Так как  $\sigma_{\bar{X}} = \frac{s}{\sqrt{N-1}}$ , то границы доверительного интервала будут

$$\bar{X} \pm \frac{3}{\sqrt{N-1}} s.$$

Из табл. 1 значений  $\Phi_0(z)$  находим, что в границах  $\pm z_1 = \pm 3\sigma$  лежит 99,73% всех значений случайной величины  $X$ , выраженной через  $z$  (так как  $2\Phi_0(3) = 2 \cdot 0,49865 = 0,9973$ ). Таким образом, с надежностью 0,9973 можно утверждать, что значение  $MX$  лежит в интервале  $X \pm 3\sigma_{\bar{X}}$ .

Так как  $x$  и  $s$  — случайные величины, то доверительные интервалы, как это следует из приведенного выше расчета, зависят от множителя при  $\sigma_{\bar{X}}$ , который обозначим для общего случая через  $z$ . Очевидно, надежность того, что значение  $MX$  лежит в пределах  $X \pm z\sigma_{\bar{X}}$ , будет больше, чем 0,9973, если  $z > 3$ , и меньше, чем 0,9973, при  $z < 3$ . Обычно задаются надежностью, равной одной из следующих величин: 0,90; 0,95; 0,99; 0,999, что соответствует значениям  $z$ , равным 1,645; 1,96; 2,576 и 3,291.

Пример. Примем, что рассмотренное выше распределение погрешностей изготовления валков является выборкой объемом  $N = 200$  (см. табл. 1). Можем принять, что распределение будет нормальным, тогда

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{s}{\sqrt{N-1}} = \frac{0,015}{\sqrt{199}} = 0,001 \text{ мм.}$$

Доверительный интервал для  $MX$  определяем по формуле

$$\bar{x} - z\sigma_{\bar{X}} < MX < \bar{x} + z\sigma_{\bar{X}}.$$

Тогда с надежностью 90% можно ожидать, что

$$11,96 - 1,645 \cdot 0,001 < MX < 11,96 + 1,645 \cdot 0,001 \\ \text{или } 11,958 < MX < 11,962.$$

Для выборок, малых объемов, множитель  $z$  должен быть заменен множителем  $t_z$ , который находят по таблицам распределения Стьюдента. Значение  $t_z$  зависит от объема выборки, т. е. от  $N - 1$ . Пользуясь этими таблицами, можно получить, например, что при  $N = 20$  и надежности 90% коэффициент  $t_z = 1,73$ ; при том же значении  $N$  и надежности 95; 99 и 99,9% величины  $t_z$  будут равны соответственно 2,09; 2,86; 3,88.

Таким образом, если бы значения  $\bar{x} = 11,96$  и  $s = 0,015$  были получены из выборки объемом 20 шт., а не 200 шт., как это было показано в предыдущем примере, то при заданной надежности 90% границы доверительного интервала были бы следующими:

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{s}{\sqrt{N-1}} = \frac{0,015}{\sqrt{19}} = \frac{0,015}{4,36} = 0,003 \text{ мм.} \\ 11,96 - 1,73 \cdot 0,003 < MX < 11,96 + 1,73 \cdot 0,003 \\ \text{или } 11,955 < MX < 11,965.$$

При надежности 99,9% получили бы изменение более значительное:

$$11,96 - 3,88 \cdot 0,003 < MX < 11,96 + 3,88 \cdot 0,003$$

или

$$11,948 < MX < 11,972.$$

При уменьшении объема выборки и увеличении требуемой надежности величина доверительного интервала будет возрастать, т. е. границы возможных значений величины  $MX$  будут расширяться.

Аналогично могут быть определены доверительные интервалы для значения  $\sigma_X$ .

В ГОСТ 11.004—74 дан уточненный метод определения доверительных границ. Так, для определения доверительных границ генеральной средней  $a$  (см. рис. 1) при неизвестной генеральной дисперсии заданы односторонними доверительными вероятностями  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ . Обычно задают  $\gamma_1 = \gamma_2$ . Тогда двусторонняя доверительная вероятность  $\gamma^* = \gamma_1 + \gamma_2 - 1$  при условии, что  $\gamma_1 > 0,5$ ;  $\gamma_2 > 0,5$ .

Значение  $\gamma$  выбирают из ряда 0,80; 0,90; 0,95; 0,975; 0,990; 0,995; 0,9975; 0,9990.

Верхнюю и нижнюю границы доверительного интервала находят по формулам  $a_D = \bar{x} + \epsilon$ ;  $a_N = \bar{x} - \epsilon$ ; где  $\epsilon = t_\gamma s / \sqrt{N}$ .

Значение  $t_\gamma$  по заданной односторонней доверительной вероятности  $\gamma$  и  $k = N - 1$  находят по табл. 2 ГОСТ 11.004—74.

Для рассмотренного выше примера  $\bar{x} = 11,96$ ;  $s = 0,015$  мм. Задая  $\gamma = 0,9975$  по табл. 2 указанного стандарта для  $k = 200 - 1 = 199$ ,  $t_\gamma = 2,837$  (интерполируя между значениями  $k = 150$  и  $k = 200$ ), получим

$$\epsilon = \frac{2,837 \cdot 0,015}{\sqrt{200}} = 0,003 \text{ мм,}$$

откуда

$$a_D = \bar{x} + \epsilon = 11,96 + 0,003 = 11,963 \text{ мм}$$

$$a_N = \bar{x} - \epsilon = 11,96 - 0,003 = 11,957 \text{ мм}$$

или

$$11,963 < MX < 11,957.$$

## 6. МЕТОДЫ СУММИРОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ

При нормировании точности технологического процесса или процесса измерения, а также при анализе действительной точности этих процессов возникает задача суммирования погрешностей (определенных либо эмпирическим, либо расчетным путем) и задача анализа суммарной погрешности, например разложения полученной путем измерения суммарной погрешности на отдельные составляющие. Вторая задача является более сложной и не всегда имеет единственное, т. е. вполне определенное, решение.

Методы суммирования погрешностей будут различными в зависимости от вида погрешностей, т. е. в зависимости от того, являются ли погрешности величинами скалярными, векторными, постоянными или переменными, изменяющимися по экспоненциальному закону (убывающими и возрастающими) или изменяющимися периодически. Кроме того, следует различать, являются ли для данного процесса суммируемые

погрешности случайными или систематическими. Поставленную задачу невозможно решить путем вывода какой-либо универсальной формулы, поэтому рассмотрим методику суммирования отдельных видов погрешностей и анализ суммарных погрешностей.

Систематические постоянные погрешности должны входить в суммарную погрешность полностью с учетом знака, т. е. должны суммироваться алгебраически. Систематические переменные погрешности в том случае, если определяется наибольшая величина суммарной погрешности, должны суммироваться с тем знаком, при котором абсолютная величина суммы увеличивается. Так, например, если сумма остальных слагаемых отрицательна, то в нее следует включить наибольшее по абсолютной величине отрицательное значение систематической погрешности (если она такое значение в процессе своего изменения принимает) со знаком «—» или наименьшее по абсолютной величине положительное значение (если отрицательные значения отсутствуют).

В данном разделе для проведения расчетов необходимо считать погрешностью  $\Delta x_i$  величины  $x_i$  ее отклонение от среднего значения  $\bar{x}_i$ . Следовательно, в дальнейшем будем полагать, что возможные для величины  $x_i$  погрешности будут  $+\Delta x_i$  и  $-\Delta x_i$ , а диапазон изменения погрешности равен  $2 \Delta x_i$ . Это условие необходимо учитывать во всех расчетах. Так, например, если в расчете участвуют величины диаметров величин  $d_n = 12_{-0,07}$ , следует считать, что возможны наибольшие по абсолютной величине погрешности, т. е. отклонения от размера  $d_n = 11,965$ , равные  $+0,035$  и  $-0,035$ .

На основании равенства (11) можно считать, что при нормальном распределении с вероятностью, равной 0,9973, предельная случайная погрешность измерения

$$\Delta_{lim} = \pm 3\sigma \approx \pm 3s. \quad (14)$$

Предельная погрешность для совокупности, состоящей из средних арифметических, будет

$$\Delta_{lim} \bar{x} = \frac{\Delta_{lim}}{\sqrt{N}}, \quad (15)$$

где  $\Delta_{lim}$  определяется по уравнению (14).

Из теории вероятностей известно, что дисперсия суммы нескольких независимых случайных величин равна сумме дисперсий этих величин, т. е.

$$D(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = Dx_1 + Dx_2 + \dots + Dx_n.$$

Учитывая, что  $Dx = \sigma_x^2$ , можно написать

$$\sigma(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \sqrt{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2 + \dots + \sigma_{x_n}^2}$$

или

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{x_i}^2}. \quad (16)$$

Из этого уравнения следует, что суммирование средних квадратических для случайных погрешностей, входящих в общую погрешность результата измерения при их взаимной независимости и одинаковом распределении, близком к нормальному, должно производиться квадратически.

На основании уравнения (16) предельная суммарная погрешность измерения или изготовления, состоящая из систематических и случайных погрешностей,

$$\Delta_{\Sigma \text{ лим}} = \sum \Delta_{i \text{ сист}} \pm \sqrt{\Delta_{lim_1}^2 + \Delta_{lim_2}^2 + \dots + \Delta_{lim_n}^2}, \quad (17)$$

где  $\sum \Delta_{i \text{ сист}}$  — алгебраическая сумма систематических погрешностей, представляемая со своим знаком;  $\Delta_{lim_1}, \Delta_{lim_2}, \dots, \Delta_{lim_n}$  — предельные случайные погрешности, входящие в  $\Delta_{\Sigma \text{ лим}}$ .

Эта формула справедлива, если законы распределения всех случайных погрешностей близки к нормальному.

При определении наибольшей предельной погрешности (наихудший случай) у квадратичной суммы случайных погрешностей берется тот же знак, который имеет сумма систематических погрешностей  $\sum \Delta_{i \text{ сист}}$ .

Пример. Гладкий рабочий калибр-пробку для проверки отверстия  $\varnothing 100H7$  измеряют на горизонтальном оптиметре. Применяют концевые меры 1-го класса точности по их номинальным размерам, т. е. без учета их действительных размеров. Требуется определить предельную погрешность измерения.

Принимаем для всех случайных погрешностей нормальный закон распределения.

По СТ СЭВ 157—75 устанавливаем, что допуск на изготовление пробки равен 0,006 мм. Пределы допускаемой погрешности оптиметра принимаем равными  $\Delta_{lim \text{ оп}} = \pm 0,0003$  мм. Пределы допускаемой погрешности блока концевых мер вводим исходя из допусков, входящих в блок концевых мер 1-го класса точности:  $\Delta_{lim \text{ м}} = \pm 0,0005$  мм. Влиянием промежуточных притирочных слоев смазки толщиной 0,02—0,03 мкм пренебрегаем.

Определяем предельную погрешность, вызванную отклонением температуры от нормальной.

Допустимые колебания температуры при применении концевых мер 1-го класса равны  $\pm 3^\circ \text{C}$ . Коэффициент линейного расширения калибра  $\alpha_k = (11,5 \pm 2) \cdot 10^{-6}$ , концевых мер  $\alpha_m = (11,5 \pm 1) \cdot 10^{-6}$ . Наибольшая возможная разность коэффициентов линейного расширения  $\alpha = \alpha_{k \text{ max}} - \alpha_{m \text{ min}} = 13,5 \cdot 10^{-6} - 10,5 \cdot 10^{-6} = 3 \cdot 10^{-6}$ .

Тогда предельная температурная погрешность

$$\Delta_{lim_T} = \pm 100 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = \pm 0,0009 \text{ мм.}$$

Погрешность, вызываемую измерительным усилием, в расчет не принимаем, так как ее влияние мало. Будем считать, что систематические погрешности устранены. Находим суммарную предельную случайную погрешность измерения

$$\Delta_{\Sigma \text{ лим}} = \pm \sqrt{\Delta_{lim \text{ оп}}^2 + \Delta_{lim \text{ м}}^2 + \Delta_{lim_T}^2} = \pm \sqrt{0,3^2 + 0,5^2 + 0,9^2} \approx \pm 1 \text{ мкм.}$$

## 7. УСТАНОВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОПУСКОВ

Технологическим  $T_r$  называют допуск, который обеспечивается при каком-либо определенном технологическом процессе (рис. 5). Он зависит от метода изготовления деталей, применяемого оборудования, инструмента, приспособлений, режимов процесса и других технологических факторов. Приблизительно технологический допуск может быть определен по формуле

$$T_r = V_{\text{lim}} + \sum \Delta I_{\text{сист}} \quad (18)$$

где  $V_{\text{lim}}$  — практически предельное поле рассеяния контролируемого параметра;  $\sum \Delta I_{\text{сист}}$  — алгебраическая сумма неустранимых систематических погрешностей при данном технологическом процессе.

Этот метод определения  $T_r$  применим только при непрерывном и надежном регулировании точности изготовления и при контроле большой выборки деталей.

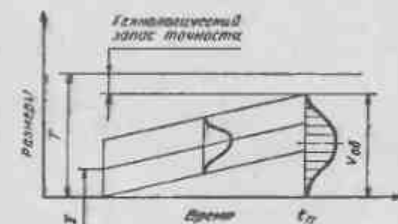


Рис. 5. Технологический допуск

$x_{\min} = \bar{x} - ls$  и верхнего  $x_{\max} = \bar{x} + ls$ , где  $\bar{x}$  и  $s$  — определяются по данным выборки;  $l$  — коэффициент [22], зависящий от объема выборки, допускаемой вероятности получения брака  $2\beta$  [или требуемой вероятности получения годных деталей  $(1 - 2\beta)$ ] и вероятности  $P$  того, что  $(1 - 2\beta) \cdot 100\%$  деталей генеральной совокупности будут иметь размеры, лежащие в пределах назначенного допуска. Тогда допуск

$$T_r = [(\bar{x} + ls) - (\bar{x} - ls)] + \sum \Delta I_{\text{сист}} \quad (19)$$

Для технологического процесса, указанного в предыдущем примере (см. табл. 2), технологический допуск:

по уравнению (23)\*

$$T_r = 6 \cdot 0,015 + 0,005 = 0,095 \text{ мм};$$

по уравнению (24) при  $P = 0,95$  и  $(1 - 2\beta) = 0,9973$

$$T_r = (11,96 + 3,47 \cdot 0,015) - (11,96 - 3,47 \cdot 0,015) + 0,005 = 0,109 \text{ мм},$$

\* Алгебраическая сумма систематических погрешностей принята равной смещению центра настройки  $\epsilon$  (см. рис. 4).

где  $l = 3,47$  — коэффициент, определенный при  $P = 0,95$ ;  $(1 - 2\beta) = 0,9973$  и  $N = 200$ .

Таким образом, в данном случае необходимо увеличить допуск с 10-го до 11-го качества ( $h_{11}$ ) или же применить более точный технологический процесс изготовления деталей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богуславский М. Г., Цейтлин Я. М. Приборы и методы точных измерений длины и углов. М.: Изд-во стандартов, 1977. 248 с.
2. Бурдун Г. Д., Марков Б. Н. Основы метрологии. М.: Изд-во стандартов, 1972. 318 с.
3. Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении. Б. С. Балакшин, С. С. Волосов, И. В. Дунин-Барковский и др. М.: Машиностроение, 1972. 616 с.
4. Владзиевский А. П., Белоусов А. П. Основы автоматизации производства в машиностроении. М.: Высшая школа, 1974. 352 с.
5. Зябрева Н. П., Перельман Е. И., Шегал М. Я. Пособие к решению задач по курсу «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения». М.: Высшая школа, 1978. 204 с.
6. Измерительный инструмент и приборы. Каталог. М.: НИИМАШ, 1976. 560 с.
7. Коломийцев Ю. В. Интерферометры. М. — Л.: Машиностроение, 1976. 294 с.
8. Коротков В. Н., Тайц Б. А. Основы метрологии и теория точности измерительных устройств. М.: Изд-во стандартов, 1978. 400 с.
9. Линейные и угловые измерения/Г. Д. Бурдун, Г. С. Бирюков, М. Г. Богуславский и др. М.: Изд-во стандартов, 1977. 511 с.
10. Марков А. Л. Измерение зубчатых колес. 4-е изд. Л.: Машиностроение, 1977. 280 с.
11. Марков Н. Н., Кайнер Г. Б., Сацердотов П. А. Погрешность и выбор средств при линейных измерениях. М.: Машиностроение, 1976. 392 с.
12. Марков Н. Н., Сацердотов П. А. Погрешности от температурных деформаций при линейных измерениях. М.: Машиностроение, 1976. 231 с.
13. Методические указания по внедрению ГОСТ 8.051—73: «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров от 1 до 500 мм РДМУ 98—77. М.: Изд-во стандартов, 1977. 52 с.
14. Мироенко А. В. Фотоэлектрические системы для измерения линейных и угловых величин. М.: Энергия, 1966. 360 с.
15. Приборы и устройства активного контроля деталей в процессе обработки, применяемые в производстве подшипников. Каталог. М.: ВНИИПП, 1975. 112 с.
16. Производство зубчатых колес. Справочник/Под. ред. Б. А. Тайца. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1975. 728 с.
17. Решетов Д. Н. Детали машин. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1974. 655 с.

18. Справочник контролера машиностроительного завода/Под. ред. А. И. Якушева. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1970. 471 с.
19. Справочник по производственному контролю в машиностроении/Под. ред. А. К. Кутая. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1974. 975 с.
20. Тайц Б. А. Точность и контроль зубчатых колес. М.: Машиностроение, 1972. 367 с.
21. Трутень В. А., Трутень Ф. А. Некоторые электронные приборы для активного контроля деталей больших диаметров. — В кн.: Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении. М.: Машиностроение, 1967. 198 с.
22. Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. 5-е изд. М.: Машиностроение, 1979. 344 с.
23. Якушев А. И., Мавлютов Р. Р., Мустаев Р. Х. Повышение прочности и надежности резьбовых соединений. М.: Машиностроение, 1979. 204 с.
24. Якушев А. И., Бежелукова Е. Ф., Плуталов В. Н. Допуски и посадки ЕСДП СЭВ для гладких цилиндрических деталей. Расчет и выбор. М.: Изд-во стандартов, 1978. 256 с.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ



## А

- Автоблокировки 482, 483, 503, 504
- Автоклиматоры 341, 342, 379—381
- Автоматизированные контрольные устройства 467—470
- Автоматические контрольные системы — Датчики — см. Датчики
- Механизмы транспортирующие 433—437
- Позиции измерительные 437—444
- Автоматические системы для пассивного контроля размеров
- Диаметры и формы деталей типа тел вращения 471, 475, 476
- Длины и толщины деталей 476
- Зубчатые колеса 479
- Классификация, точность и производительность 470
- Резьбовые детали 476—479
- Селективная сборка 480
- Типаж 471—474
- Автоматические средства контроля размеров — Классификация 432, 433 — Схемы электрические 463—467
- Автоматические устройства активного контроля размеров 481, 482 — см. также Автолазераторы
- Автоматы для контроля размеров — Оснастка пневмоэлектрических систем 462, 463
- Регистры сдвига 458, 459
- Устройства блокировочные 454, 455

- Устройства запомнакшие 455—458
- Устройства исполнительные 459—462
- Устройства управляющие 454
- Автоподладчики 481, 482, 503, 504
- Автолазераторы 481
- Для контроля деталей в производстве подшипников 490—501
- Схема общая с двумя рычагами и неподвижными шарнирами 489, 502
- Устройства двухточечные безрычажные 483
- Устройства двухточечные рычажные 488, 489
- Устройства односточечные безрычажные 483, 484
- Устройства односточечные рычажные 488
- Устройства трехточечные безрычажные 484—488
- Анализ дисперсионный 430
- регрессионный 430
- статистический точности технологического процесса 429

## Б

- База — Понятие 26
- Биеение в заданном направлении — Измерение 351, 352
- радиальное 32, 33 — Измерение 351, 352
- торцовое 32, 33 — Измерение 351, 352
- Биеенимер 414
- Бочкообразность 28

## В

- 5405—75 314, 315
- 6507—78 373
- 6933—72 301
- 8020—68 241
- 8026—75 388
- 8074—71 324
- 8309—75 322
- 9038—73 252, 338
- 9378—75 356
- 9392—75 341
- 9953—67 118
- 10197—70 304, 305
- 10388—73 308
- 10593—74 301
- 10875—76 318
- 10905—75 338
- 10908—75 348
- 11098—75 310, 311
- 11195—74 308
- 11196—74 378
- 11197—73 348
- 11709—71 98, 275
- 11899—77 342
- 12069—78 258
- 12441—66 315
- 14028—68 314
- 14266—69 463
- 14682—79 447, 463
- 14683—69 463
- 14711—69 302
- 14712—69 301
- 14864—78 447
- 14865—78 447
- 15895—77 426
- 16093—70 275
- 16319—70 137
- 17215—71 372
- 17353—71 346
- 17433—72 447
- 18107—72 276, 278, 295
- 18833—73 302
- 19299—73 359, 361
- 19300—73 360, 361, 363
- 19415—74 134
- 19416—74 135
- 21401—75 272
- 23002—78 56
- Взаимозаменяемость — Понятие 11
- внешняя 12
- внутренняя 12
- неполная 12
- полная 11
- функциональная 12
- Вогнутость 29
- Волнистость поверхности 55—
- Профиль 54
- Выпуклость 29

## Г

- Гаусса закон 507
- Гипотеза о законе распределения — Проверка 513—516
- Головки измерительные 300—304, 350 — Стойки и штативы 304, 305
- оптические делительные 378
- Гониометры 379, 380
- ГОСТ 1.25—76 233
- 2.309—73 51
- 8.009—72 239, 240
- 8.046—73 378
- 8.050—73 24, 236, 237
- 8.051—73 383
- 8.131—74 259
- 8.166—75 255
- 8.241—77 364
- 8.242—77 364
- 9.302—79 353
- 11.004—74 516
- 11.006—74 514
- 10—75 372
- 164—73 307
- 166—73 306
- 577—68 302
- 882—75 338
- 1121—75 344
- 2386—73 341
- 2789—73 42, 52, 252
- 2848—75 118
- 2875—75 257, 378
- 2923—75 344
- 3059—75 341, 378
- 3749—77 348
- 4119—76 255
- 4381—68 309, 310
- 5368—73 400, 418
- Граница регулирования 428
- Д
- Датчики емкостные 451
- индуктивные 449, 450

- пневмоэлектроконтактные 447, 448
  - положения кодовые 335—337
  - фотоэлектрические 449, 450
  - электроконтактные 445
  - электронные 451—453
  - Деление шкалы прибора 238
  - Детали из пластмасс — Точность изготовления 100, 101
  - Диаграмма точностная 428
  - Диапазон измерений 239
    - показаний 239
  - Длина деления 288
  - Длиномеры 314—317
  - Допуск — Понятие 17
    - диаметра в сечении конуса 116, 117
    - замыкающего размера 124
    - позиционный 30
    - посадки 19
    - расположения зависимый 33, 34
    - расположения независимый 34
    - технологический — Установление 518, 519
    - угла конуса 118
    - формы конуса 118
  - Допуски — Обозначение видов 35
    - зависимые — Расчет на расстоянии между осями отверстий 143—145
    - инструментальных конусов 118—120
    - круглости 40, 41
    - наклона 39
    - параллельности 39
    - пересечения осей 40, 41
    - перпендикулярности 39
    - плоскостности 39
    - полного радиального биения 40, 41
    - полного торцового биения 39
    - профиля продольного сечения 40, 41
    - прямолинейности 39
    - радиального биения 40, 41
    - симметричности 40, 41
    - соосности 40, 41
    - торцового биения 39
    - формы и расположения поверхностей деталей — Обозначение на чертежах 34—38 — Числовые значения 38—41
    - функциональные 89 — Схемы к расчету 90
    - цилиндричности 40, 41
  - Допуски и посадки — Выбор 88—91
    - гладких изделий из пластмасс 98—100
    - гладких цилиндрических соединений 58—83
    - метрических резьб 156—166
    - подшипников качения 106—112
    - резьбовых изделий из пластмасс 102—105
    - шлицевых соединений с прямобочным профилем зубьев 219—224
    - шлицевых соединений с эвольвентным профилем зубьев 224—232
- Е**
- Единица допуска — Формулы 23
- З**
- Зазор — Понятие 18
    - боковой в зубчатой передаче 200—213 — Контроль 418 — Контроль смещения исходного контура 418—420 — Контроль толщины зуба по хорде 420, 421
  - Закон нормального распределения вероятностей 507
    - равнобедренного треугольника (Симпсона) 132—136
    - равной вероятности 131
    - равномерного возрастания плотности вероятности 131, 132
  - Запас точности 90, 91
  - Звено замыкающее — Определение предельных размеров 124—128 — Расчет номинального размера 123, 124
    - составляющее — Отклонения 125
  - Зубомер смещения 419
    - хордовый 420

**И**

- Измерения — Метрологические характеристики средства 238—240
    - Цели и методы обработки результатов 505
    - линейные и угловые — Нормальные условия выполнения 236—238
    - отклонений расположения 348—352
    - отклонений формы 338—348
    - углов косвенные 382, 383
  - Измерения отверстий и валов больших размеров косвенные 374—376 — Метод описывания 374 — Определение диаметра по результатам измерения элементов окружности 375 — От дополнительных измерительных баз 374
    - методом обкатывания 376, 377
    - прямые 371—374
  - Индикаторы 302, 351
  - Интервал деления шкалы 238
  - Интервалы размеров 24
  - Интерферометры 314, 315, 319, 320, 344, 365
  - ИСО Р 1302—70 49, 51
  - ИСО ПМС 2632 49
- К**
- Калибры — Классификация 261, 262
    - Маркировка 263
    - Основной принцип конструирования 262, 263
    - Основные требования и правила эксплуатации 263
  - Калибры гладкие — Допуски на изготовление 264
    - Допуски и отклонения 266—269
    - Расчет исполнительных размеров 264, 265
    - Типы 263
    - Формулы для определения исполнительных размеров 270
  - Калибры для контроля деталей шпоночного соединения 424
    - резьбы — Допуски на изготовление 275—295 — Назначение и характеристика 276—278 — Профиль резьбы калибров 274, 275 — Расчет исполнительных размеров 295—299 — Схема проверки резьбы 273 — Типы 272
  - Калибры комплексные шлицевые 424
    - предельные — Схема проверки допусков деталей 262
  - Катетометры 322
  - Квадранты оптические 379, 381
  - Качество — Понятие 23, 24
  - Качество ISO — Сравнение с классами точности ГОСТ 88
  - Колеса зубчатые — Допускаемые погрешности измерения 409, 410
    - Контроль кинематической точности 410—415
    - Контроль точности 395—400
    - Приборы для контроля 400—410
    - Точность кинематическая 170—182
  - Колеса зубчатые цилиндрические — Контроль кинематической точности 410—415
    - Контроль плавности работы 415—417
    - Контроль погрешности направления зуба, погрешности контактной линии, отклонения осевого шага 417, 418
    - Контроль пятна контакта 417
    - Нормы бокового зазора 203—213
    - Нормы кинематической точности 180—182
    - Нормы контакта зубьев 197—199
    - Нормы плавности 187—193
  - Колеса червячные — Контроль 421—423
  - Компараторы 319
  - Контроль — Выбор контрольно-измерительных средств 243—249 — Организационно-технические формы 233—236

- выборочный 426
- инструментальных конусов—  
Методы и средства 383—385
- резьбы дифференцированной 388—394
- резьбы комплексный 388
- статистический — Области применения 428—431
- толщины покрытий 352—355
- точности зубчатых колес 395—400 — Приборы 400—410
- шероховатости поверхности — Выбор средств 367, 368
- шероховатости поверхности приборами профильного метода 368—370
- Контур сечения 26
- Конусности нормальные 113
- Конусообразность 28
- Конусы инструментальные —  
Допуски 118—120
- Методы и средства контроля 383—385
- Коэффициент запаса точности 90, 91, 94
- корреляции 430
- относительного рассеяния 132, 136, 137
- Кругломеры 346

## Л

- Линейки оптические 341—344
- Линия нулевая 17
- Лупы измерительные 322

## М

- Максвелла закон 511
- Машины измерительные 317—319
- Междоцентмеры 421, 422
- Меры — Виды и назначения 252 — Понятие 238
- длины концевые 252, 254, 255 — Поверка 255, 256 — При prizаемость 254 — Точность 253
- длины штриховые — Градация 258 — Поверка 259 —

- Точность 259
- кодовые линейные и угловые 336
- угловые 257, 258
- Метод измерения интерференционный 319—321
- Методы контроля статистические — Термины и области применения 426—431
- толщины покрытий 352—355
- Механотроны 451—453
- Микрометр — Типы 307, 309 —  
Характеристика 308, 310
- зубомерный 414
- Микроскоп 322—327, 367

## Н

- Натяг — Понятие 18
- Ножи измерительные 392
- Нормалемер индикаторный 415
- Нутромер интерференционный 347
- микрометрический 372
- телескопический 373

## О

- Образцы шероховатости поверхности 356, 357
- Овальность 27
- Огранка 27
- Окружность прилегающая 26
- Оптиметры 311—316
- ОСТ 1.51 697—73÷1.51 726—73 343
- Отклонение действительное 16
- от круглости 27 — Измерение 344—348
- от параллельности осей (или прямых) 30, 31 — Измерение 348
- от параллельности плоскостей 29—31
- от пересечения осей 30—32 — Измерение 351
- от перпендикулярности плоскостей 30, 31 — Измерение 348

- от плоскостности 29 — Измерение 338—344
- от прямолинейности 28, 29 — Измерение 338—344
- от симметричности 30—32 — Измерение 350, 351
- от соосности 30, 31 — Измерение 349, 350
- от цилиндричности 27
- профили продольного сечения 27 — Измерение 348
- расположения 29, 38—41
- суммарные формы и расположения 32, 33
- формы поверхности (или профиля) 26—29 — см. также *Форма поверхности*
- Отклонения предельные 16 —  
Обозначение на чертежах 17, 83—85
- валов 61—70
- отверстий 71—80

## П

- Передачи зубчатые — Боковой зазор 200, 201
- Взаимосвязь допусков и предельных отклонений 174—177
- Выбор степени точности 215, 216
- Классификация по эксплуатационному назначению 169
- Контакт зубьев 194—199
- Контроль кинематической точности 410—415
- Показатели кинематической точности 170—173, 178, 179
- Показатели плавности работы 183—186
- Системы допусков 170
- Точность кинематическая 170—182
- Условное обозначение точности 214
- Передачи зубчатые конические —  
Боковой зазор 202
- Контакт зубьев 197
- Условное обозначение точности 214, 215

- Передачи зубчатые цилиндрические — Контроль кинематической точности 410—415
- Контроль плавности работы 415—417
- Нормы бокового зазора 203—213
- Нормы кинематической точности 180—182
- Нормы контакта зубьев 197—199
- Показатели контакта зубьев 195, 196
- Показатели плавности работы 190—193
- Условные обозначения точности 214
- Передачи червячные — Боковой зазор 202
- Контроль 421—423
- Показатели контакта зубьев 196, 197
- Средства измерения 405—409
- Условные обозначения точности 214
- Плоскомеры оптические 340, 341, 343
- Плоскость прилегающая 26
- Поверхности действительные 26
- идеальные 26
- конические — Предельные отклонения углов и формы 119, 120
- несопрягаемые (свободные) 17
- номинальные 26
- охватываемые 17, 18
- охватывающие 17, 18
- реальные 26
- сопрягаемые 17
- Погрешности — Методы суммирования 516—518
- измерения — Ряды 244, 245 — систематические 505
- случайные 506
- средств измерения 239, 240
- Погрешность 20
- компараторная 250
- Подшлинники качения — Допуски в посадке 106—112
- Обозначение посадок на чертежах 111
- Шероховатость посадочных поверхностей 112

Покрyтия — Контроль толщины 352—355  
 Поля допусков — Понятие 17  
 — Расположение 16, 18, 19, 22  
 Посадки — Понятие 18 — Примеры обозначения 19, 84  
 — в системе вала 92  
 — в системе отверстия 21, 22  
 — переходные 19 — Расчет и выбор 94, 95  
 — с зазором 18 — Области применения 92—94 — Расчет и выбор 91, 92  
 — с натягом 19 — Расчет и выбор 96, 97  
 — шлицевых соединений 220—224  
 Предел измерений 239  
 — непроходной 15  
 — проходной 15  
 Преобразователи счетные растровые и интерференционные 328—330  
 Приборы автоколлимационные 341  
 — визирные 341  
 — для дистанционных измерений 321, 322  
 — для измерения параметров шероховатости поверхности 357—367  
 — для контроля зубчатых колес 400—410  
 — измерительные — Вариация показаний 240 — Чувствительность 239  
 — индикаторные седлообразные 373  
 — интерференционные 310—321  
 — контактные последовательного преобразования профиля 369—365  
 — оптические одновременного преобразования профиля 365—367  
 — светового сечения 366, 367  
 — угломерные 378—383  
 Принцип конструирования калибров 262, 263  
 — Тейлора 262  
 — функциональной взаимозаменяемости 13  
 Проекторы 327, 328

Профилограф 359  
 Профилограф-профилометр 359, 361  
 Профилометр 359, 362, 363  
 Профиль поверхности 26  
 Патно контакта зубьев в передаче 194

## P

Размер действительный 14  
 — замыкающий 122 — Расчет 123—128  
 — исходный 122  
 — компенсирующий 137  
 — номинальный 14  
 — расчетный (заданный) 20  
 Размеры нормальные линейные 14, 15  
 — предельные 15  
 — составляющие 122  
 — увеличивающие 122  
 — уменьшающие 122  
 Размеры большие отверстий и валов — см. *Измерение отверстий и валов больших размеров*  
 Размеры малые отверстий и валов — Измерение 371  
 Расчет размерных цепей — Краткие сведения 145—147 — Метод групповой взаимозаменяемости 141—143  
 — Метод максимума-минимума 123—128  
 — Метод пригонки 140  
 — Метод регулирования 137—140  
 — Метод теоретико-вероятностный 130—136  
 — Расчет зависимых допусков на расстоянии между осями отверстий 143—145  
 — Способ допусков одного квалитета 128, 129  
 — Способ пробных расчетов 129  
 — Способ равного влияния 130  
 — Способ равных допусков 128  
 Резьба — Дифференцированный контроль 388—394  
 — Классификация 148

— Комплексный контроль 386  
 — Коэффициент трения 166

Резьба внутренняя — Измерение параметров 392—394  
 — кинематическая — Взаимозаменяемость 166—168

Резьба метрическая — Длина свчпчивания 159  
 — Допуски 156, 160—163  
 — Калибры 276—278  
 — Классы точности 159, 160  
 — Обозначение точности и посадок 163  
 — Основное отклонение 157, 158  
 — Поле допуска 157—159 — Схемы 156  
 — Посадки 157, 159, 163—166  
 — Предельные контуры 150, 151  
 — Профиль и основные параметры 148, 149

Резьба метрическая деталей из пластмасс  
 — Диаметры и шаги 102  
 — Допуски 102—105  
 — Достижимая точность резьбы болтов и гаек 104, 105  
 — Профиль 102

Резьба наружная — Измерение параметров 387—392  
 — трапецидальная — Взаимозаменяемость 167  
 — упорная — Взаимозаменяемость 168

Резьба цилиндрическая — Обеспечение взаимозаменяемости 150—155  
 — Отклонение половины угла профиля 152, 153  
 — Отклонение шага 151, 152  
 — Приведенный средний диаметр 153—155  
 — Суммарный допуск среднего диаметра 155

РС 1508—73 51  
 3951—73 55  
 4439—74 148  
 6298—75 400  
 6384—76 338, 341  
 6390—76 349

Ряды допусков 24

## С

Седлообразность 28  
 Система допусков и посадок 21  
 — интерференционная нулевая измерительная 332—335  
 — растровая нулевая измерительная 331, 332

Системы автоматические для пассивного контроля размеров. — см. *Автоматические системы для пассивного контроля размеров*

Системы автоматические контрольные — см. *Автоматические контрольные системы*  
 Скобы рычажные 310, 311

Соединения гладкие цилиндрические — Интервалы номинальных размеров 56  
 — Качества ISO 56—58  
 — Обозначение предельных отклонений и посадок на чертежах 83—85

— Основные отклонения отверстий и валов 59, 60  
 — Поля допусков 59, 60, 81, 82  
 — Посадки 82, 83  
 — Предельные отклонения валов и отверстий 61—80  
 — Сопоставление полей допусков и посадок в системах ГОСТ и ЕСДП СЭВ 85—88

Соединения неподвижные 56  
 — сопрягаемые 17  
 — подвижные 56

Соединения конические — Допуски и посадки 116—118  
 — Допуски углов 115  
 — Основные параметры конуса 114

— Схемы назначения допусков на угловые размеры 114  
 — Схемы образования соединений с натягом 117

Соединения шлицевые — см. *Шлицевые соединения*

Соединения шпоночные — см. *Шпоночные соединения*

Средства контроля размеров автоматические — см. *Авто-*



- математические средства контроля*
- Статистические показатели точности 512—514
- Столы оптические делительные 379
- Струны оптические 342
- СТ СЭВ 7—72 148
- 8—72 148
- 57—73 217
- 144—75 60, 61, 71, 81—84, 88, 98, 116, 117, 218, 225, 271
- 145—75 14, 15, 81, 88, 98, 106, 116, 220, 225, 269
- 147—75 118
- 148—75 118
- 157—75 264, 266, 518
- 178—75 85, 113—115, 118
- 179—75 84, 98—100
- 180—75 102
- 181—75 102
- 182—75 102
- 186—75 170, 214, 215, 395
- 187—75 220
- 188—75 220
- 242—75 388, 389
- 249—75 388
- 259—76 224, 225, 232
- 268—76 219
- 301—76 26
- 302—76 37, 75
- 303—76 247
- 304—76 148
- 305—76 166
- 306—76 163, 165
- 308—76 170
- 311—76 170, 214, 395
- 355—76 425
- 368—76 34
- 402—76 106
- 513—77 113
- 514—77 14
- 547—77 426
- 636—77 38
- 637—77 34
- 638—77 42, 49, 357, 359, 363, 364, 367
- 640—77 103, 156, 161, 163
- 641—77 170, 214, 215, 395
- 643—77 170
- 773—77 107
- 774—77 106
- 846—76 167
- 990—78 352
- 1158—78 102, 103
- Схемы поверочные — Составление 240—242
- Т**
- Тейлора принцип 262
- Температура нормальная 24, 25
- Толщиномеры — Технические характеристики 353, 354
- Точность действительная 21
- изготовления 21
- измерения — Обеспечение 249—251
- нормированная 21
- Трубка интерферометра 303
- оптиметра 303
- ТУ 2-034—299—71 348
- 2-034-640—69 351
- 2-034-802—74 338
- 3-3.144—75 342
- 3-3.641—72 342
- 3-3.655—72 343
- 3-3.764—342
- 3-3.963—74 343
- 3-3.1270—75 342
- У**
- Угломеры 378—383
- Углы нормальные 113
- Уровни 381
- Устройства автоматизированные контрольные 467—470
- Устройства активного контроля размеров автоматические 481, 482 — см. также *Автотолераторы*
- Ф**
- Форма поверхности — Влияние на точность измерений 250

- Измерение отклонений 338—348
- Отклонения формы плоских поверхностей 29
- Отклонения формы цилиндрических поверхностей 27, 28
- Система нормирования 26, 27
- Х**
- Ходомер 418
- Ц**
- Цена деления шкалы 238
- Цепи размерные — Классификация 121—123 — Расчет — см. *Расчет размерных цепей*
- Цель размерная плоская 146
- сборочная 127
- с компенсатором 139
- Ч**
- Червяки — Контроль 421—423
- Ш**
- Шагомер 413, 416
- Шероховатость поверхности 42, 48 — Влияние на эксплуатационные показатели 47—49
- Выбор параметров и их числовых значений 49—51
- Выбор средств контроля 367, 368
- Измерение параметров приборами профильного метода 368—370
- Обозначение на чертежах 51—55
- Образцы 356
- Параметры 42—47
- Приборы для измерения параметров 357—367
- Профилограмма 43
- Типы направлений неровностей поверхностей и их обозначение 51
- Шлицевые соединения** — Классификация 218, 219 — Контроль точности 423—425
- с прямобочным профилем зубьев — Допуски и посадки 219—223 — Примеры условных обозначений 223, 224
- с эвольвентным профилем зубьев — Допуски и посадки 224—232 — Условные обозначения 232
- Шпоночные соединения** — Взаимозаменяемость 217, 218
- Контроль элементов 423
- Штангензубомер** 420
- Штангенциркули** 308, 371
- Э**
- Эвольвентомер 417



ИБ № 2253



Анатолий Никифорович Виноградов, Юрий Александрович Воробьев,  
Лев Николаевич Воронцов и др.

## **СПРАВОЧНИК КОНТРОЛЕРА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА**

Редактор Т. С. Грачева  
Художественный редактор С. С. Водяниц  
Технические редакторы: Т. И. Андреева; Ф. П. Мельниченко  
Корректоры В. А. Воробьева и И. М. Борейша  
Переплет художника А. Я. Михайлова

Сдано в набор 27.11.79. Подписано в печать 23.06.80. Т-08398.  
Формат 84x108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная.  
Печать высокая. Усл. печ. л. 27,72. Уч.-изд. л. 34,0.  
Тираж 80 000 (2-й завод 40 001—80 000) экз. Заказ 213. Цена 2 р. 10 к.

Издательство «Машиностроение», 107076, Москва, В-76,  
Стромынский пер., 4.

Ленинградская типография № 6 Ленинградского  
производственного объединения «Техническая книга»  
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
193144, Ленинград, С-144, ул. Мойсеенко, 10.