**Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»**

# Измерение параметров метрической резьбы

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по курсу «Технические измерения»
для студентов направления

15.03.05 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

очной и заочной форм обучения

**Энгельс 2025**

**Цель работы:** изучить общие принципы взаимозаменяемости цилиндрических резьб, принцип действия и конструкцию инструментального микроскопа, ознакомиться с методикой измерения на микроскопе параметров резьбы, приобрести практические навыки в работе на инструментальном микроскопе.

# 1.ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

## 1.1. Общие принципы взаимозаменяемости цилиндрических резьб

К параметрам цилиндрических резьб (рис.1, а) относятся: профиль, наружный d(D), средний $d_2(D_2)$ и внутренний $d_1(D_1)$ диаметры; шаг резьбы P ( и ход $P_n$ = Pn для многозаходной резьбы; где n - число заходов), угол профиля, высота исходного треугольника H = 0,866P, угол наклона сторон профиля β и γ , угол подъема резьбы Ψ , а также длина свинчивания. Предусмотрены срезы вершин резьбы, равные H/4 у гайки и H/8 у болта, а также радиус закругления впадины резьбы болта, номинальное значение которого R = H/6 = 0,14433P.

Профиль и номинальные размеры диаметров, высота исходного треугольника, шаг и угол профиля являются общими как для наружной (болта, винта, шпильки и др.), так и для внутренней (гайки, гнезда и др.) резьб. Наружный диаметр для большинства резьб принимается за номинальный диаметр резьбы.

При изготовлении резьбовых деталей неизбежны погрешности профиля резьбы и её размеров, возможны неконцентричность диаметральных сечений и другие отклонения, которые могут нарушить свинчиваемость и ухудшить качество соединения. Для обеспечения свинчиваемости и качества соединения действительные контуры свинчиваемых деталей, определяемые действительными значениями диаметров, шага и угла профиля, не должны выходить за предельные контуры на всей длине свинчивания. У всех цилиндрических резьб с прямолинейными боковыми сторонами профиля отклонения шага и угла профиля могут быть скомпенсированы соответствующими изменениями действительного среднего диаметра резьбы.

Отклонением шага называется разность между действительным и номинальным расстояниями в осевом направлении между двумя средними точками любых одноименных боковых сторон профиля в пределах длины свинчивания или заданной длины. Отклонения шага складываются из местных и прогрессивных погрешностей шага, возрастающих пропорционально количеству витков резьбы на длине свинчивания.

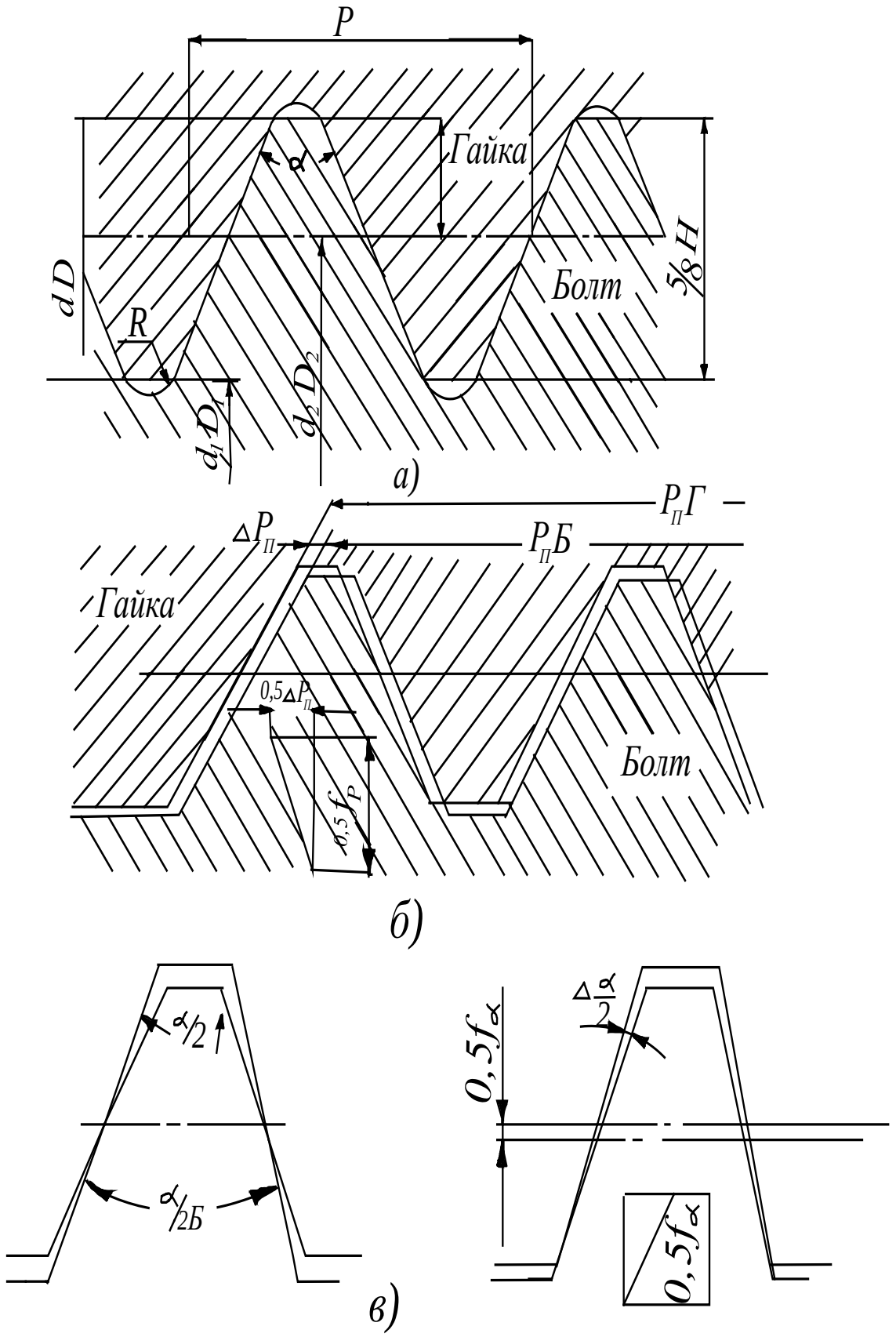
P
Гайка
α
d D
R
Болт
5/8 H
d1 D1
d2 D2
а)
PпГ
ΔPп
PпБ
Гайка
0,5ΔPп
0,5 fP
Болт
б)
α/2
α/2Б
0,5fα
Δ α/2
0,5fα
в)

Рис. 1

Наложим на сечение резьбы гайки, имеющей номинальные размеры и теоретический правильный профиль и шаг, сечение резьбы болта, у которого шаг увеличен на ΔP. При равенстве средних диаметров резьбы болта и гайки эти детали не свинчиваются, так как этому будут мешать заштрихованные участки металла гайки (рис.1, б). Свинчивание резьбовых деталей, имеющих погрешность шага резьбы, возможно только при наличии разности их средних диаметров $f$р , полученной за счет уменьшения среднего диаметра болта, или за счет увеличения его у гайки.

Из рис.1, б видно, что $\Delta P = n \cdot P_б - n \cdot P_г$ и из треугольника abc следует, что

$$f_p = ctg\frac{\alpha}{2}\Delta P .$$

Величина $f_p$ называется диаметральной компенсацией погрешностей шага, которая для метрической резьбы с α=60° определяется по формуле

$$f_p = 1{,}732\Delta P ,$$

где ΔP - накопленная погрешность шага, мкм.

Отклонением половины угла профиля Δα/2 болта или гайки (для резьб с симметричным профилем) называют разность между действительным и номинальным значениями половины угла профиля α/2.

Величина Δα/2 при симметричном профиле резьбы определяется как среднее арифметическое из абсолютных величин отклонений обеих половин угла профиля в минутах

$$\Delta\frac{\alpha}{2} = \frac{\left|\Delta\frac{\alpha}{2}лев\right| + \left|\Delta\frac{\alpha}{2}пр\right|}{2}$$

Свинчивание резьбовых деталей, имеющих погрешность половины угла профиля так же, как и при наличии погрешности шага, возможно только тогда, когда по среднему диаметру резьбы будет зазор, полученный или за счет уменьшения среднего диаметра болта или за счет увеличения его у гайки (рис. 1, в).

Величину уменьшения среднего диаметра болта или увеличения его у гайки, необходимую для обеспечения свинчивания резьбовой пары с погрешностью $\Delta\alpha/2$ называют диаметральной компенсацией погрешностей половины угла профиля и определяют для метрической резьбы с $\alpha$ =$60^0$ по формуле:

$$f_\alpha = 0{,}36P\Delta\frac{\alpha}{2},$$

где $f_\alpha$ - диаметральная компенсация погрешностей половины угла профиля, мкм;

P - шаг, мм;

$\Delta\alpha/2$ - погрешность половины угла профиля, мин.

Для упрощения контроля резьб и расчета допусков введено понятие приведенного среднего диаметра резьбы. Значение среднего диаметра резьбы, увеличенное для наружной или уменьшенное для внутренней резьбы на суммарную диаметральную компенсацию отклонений шага и угла наклона боковой стороны профиля, называют приведенным средним диаметром. Он определяется для наружной резьбы

$$d_{2пр} = d_{2изм} + \left(f_p + f_\alpha\right)$$

и для внутренней

$$D_{2пр} = D_{2изм} + \left(f_p + f_\alpha\right) .$$

Средний диаметр, шаг и угол профиля являются основными параметрами резьбы, определяющими эксплуатационные качества резьбового соединения. Вследствие взаимосвязи между отклонениями шага, угла профиля и собственно среднего диаметра, допустимые отклонения этих параметров раздельно не нормируют (за исключением резьб с натягом, резьб калибров и режущих инструментов). Для этого устанавливают только суммарный допуск на средний диаметр болта $Td_2$ и гайки $TD_2$, который включает допустимое отклонение собственно среднего диаметра $\Delta d_2(\Delta D_2)$ диаметральные компенсации погрешностей шага и угла профиля, т.е.

$$Td_2\left(TD_2\right) = \Delta d_2\left(\Delta D_2\right) + \left(f_p + f_\alpha\right).$$

Разность $Td_2\left(TD_2\right) - \left(f_p + f_\alpha\right)$ 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 компенсации отклонений шага и угла профиля и иметь соответствующие знаки.

## 1.2. Подвижные посадки метрических резьб

Посадки резьбового соединения зависят от зазоров или натягов, которые представляют разность от действительных значений приведенных средних диаметров резьбы болта и гайки.

По СТ СЭВ 640-77 для получения подвижных посадок предусмотрено пять основных отклонений для наружной (h, g, f, e, d) и четыре для внутренней (H, G, F, E) резьб. Эти отклонения одинаковы для наружного и среднего диаметров болта и внутреннего и среднего диаметров гайки. Эти

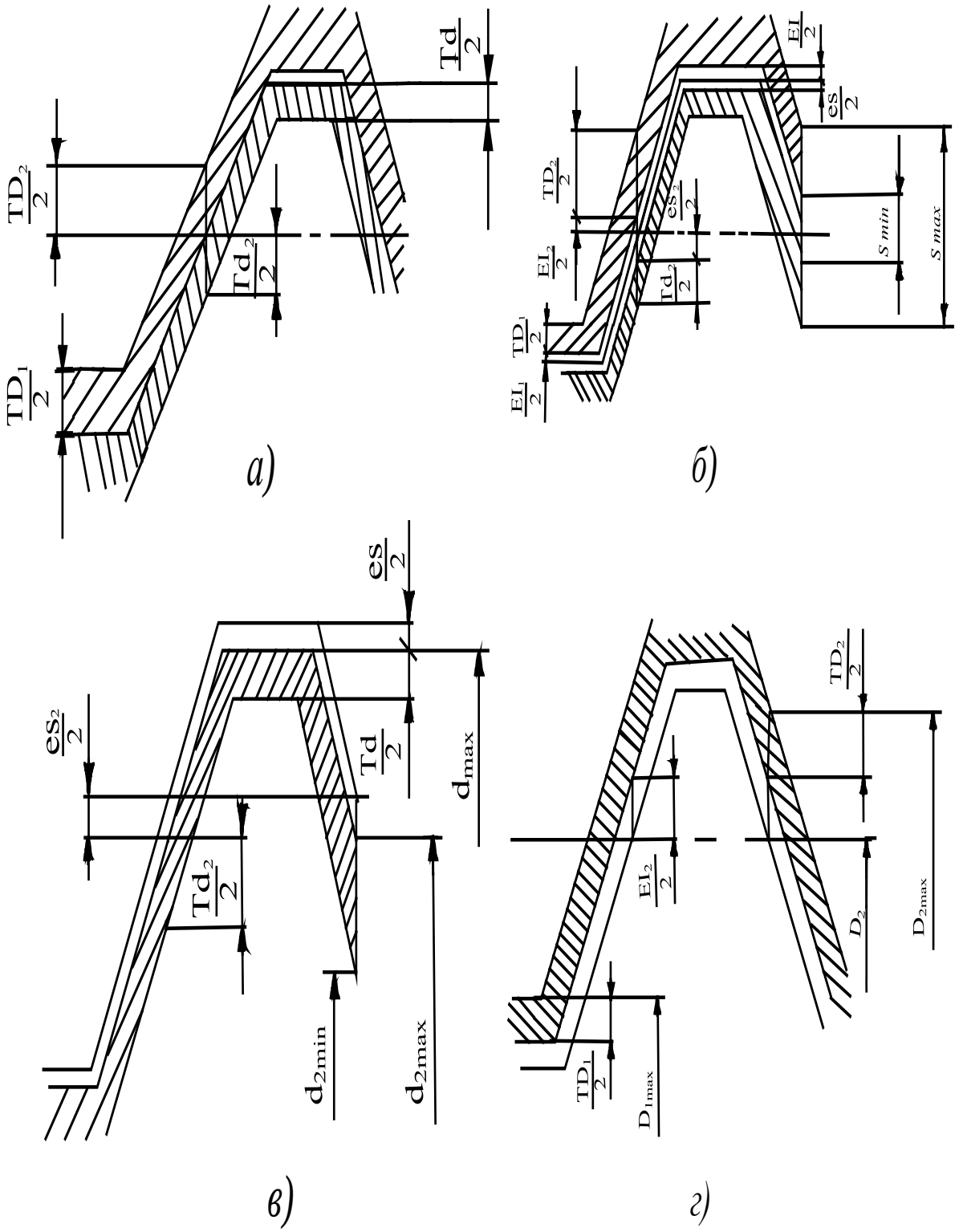
TD2/2
TD1/2
Td/2
Td2/2
а)
EI/2
es/2
TD2/2
EI2/2
es2/2
Td2/2
TD1/2
EI1/2
S min
S max
б)
es/2
es2/2
Td/2
Td2/2
dmax
d2min
d2max
в)
TD2/2
EI2/2
D2
D2max
TD1/2
D1max
г)

Рис. 2

отклонения отсчитываются от номинального профиля резьбы в направлении, перпендикулярном к оси резьбы.

При сочетании основных отклонений H/h образуется посадка с наименьшим зазором, равным нулю (рис.2, а), а при сочетании H с q,f,e,d, а также G,F,E с h,q,f,e,d образуется с гарантированным зазором (рис.2, б). Указанные основные отклонения для наружной резьбы определяют верхнее отклонение (рис.2, в), а для внутренней - нижнее отклонение диаметров резьб (рис.2, г).Величины основных отклонений H и h равны нулю.

Стандартом установлены следующие степени точности резьб, на которые даны ряды допусков (таблица 1).

Таблица 1

| Диаметр болта | Степени точности |
|---|---|
| наружный d | 4, 6, 8 |
| средний d2 | 3, 4, 5, 6 7, 8, 9, 10 |
| | |
| Диаметр гайки | Степени точности |
| внутренний D1 | 4, 5, 6, 7, 8 |
| средний D2 | 4, 5, 6, 7, 8, 9 |

Величины основных отклонений (верхнее для наружной резьбы и нижнее для внутренней) можно определить по формулам учебника [1] или по таблицам допусков резьб справочника [2].Сочетание основного отклонения, обозначаемого буквой, с допуском по принятой степени точности определяет поле допуска резьбы.

При определении предельных размеров болта и гайки началом отсчета служит номинальный профиль, общий для наружной и внутренней резьб.

У болта, предельные значения наружного и среднего диаметров определяются по формулам:

$$dmax = d + es;$$
$$dmin = d + es + Td = d + ei;$$
$$d_2\ max = d_2 + es_2;$$
$$d_2\ min = d_2 + es_2 + Td_2 = d_2 + ei_2;$$

У гайки предельные значения внутреннего и среднего диаметров определяются по формулам:

$$D_1min = D_1 + EJ_1;$$
$$D_1max = D_1 + EJ_1 + TD_1 = D_1 + ES_1;$$
$$D_2min = D_2 + EJ_2;$$
$$D_2max = D_2 + EJ_2 + TD_2 = D_2 + ES_2.$$

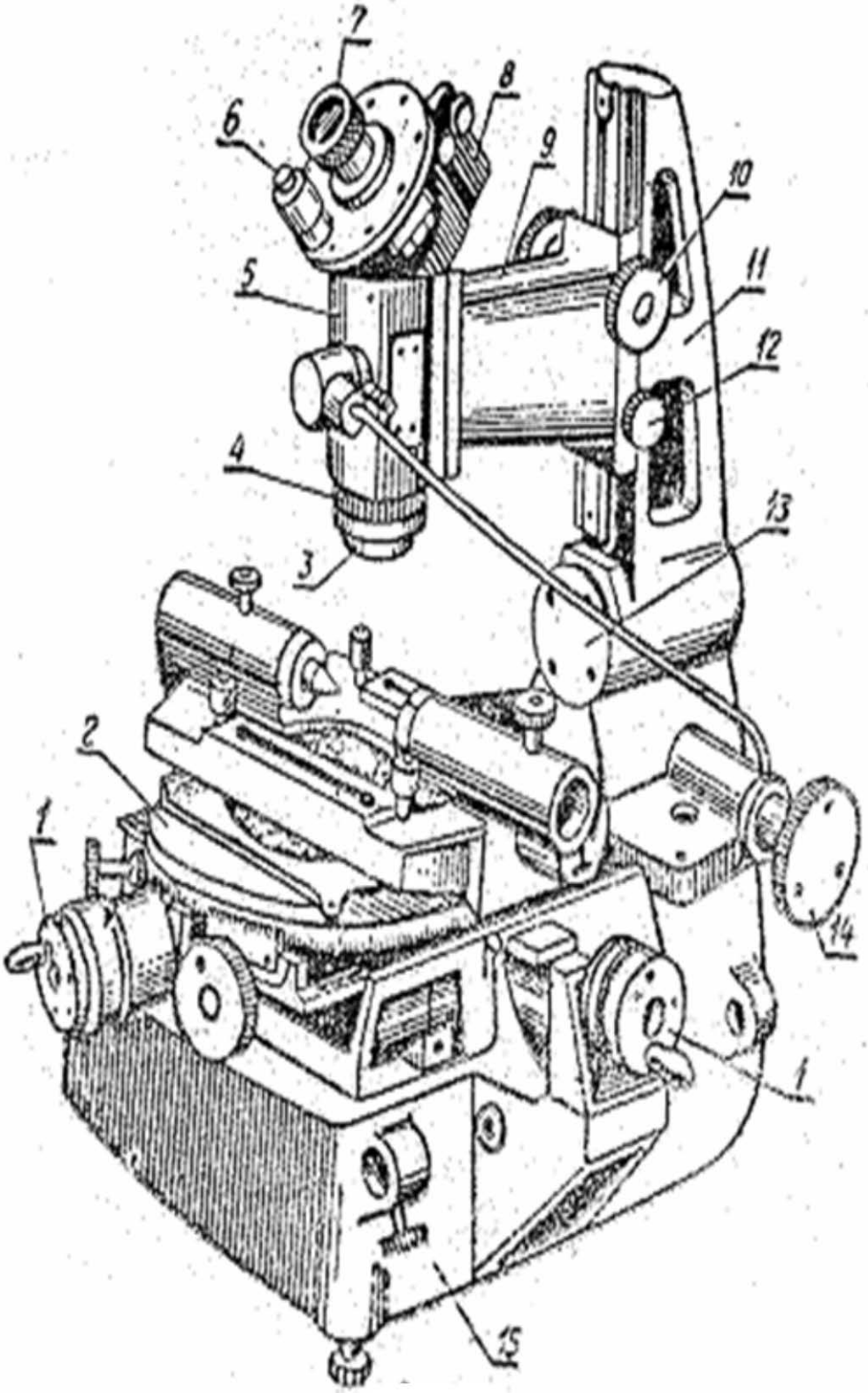


Рис.3

Обозначение поля допуска, диаметра резьбы состоит из цифры, показывающей степень точность, и буквы, обозначающей основное отклонение, (например, 6q,6d,6H,6F).

Обозначение точности резьбы состоит соответственно из обозначений полей допусков среднего диаметра, помещаемого на первом месте, и на втором – наружного диаметра для болта, или внутреннего диаметра для гайки, например, 6h7q. Если обозначения полей допусков наружного диаметра болта и внутреннего диаметра гайки совпадают с обозначением поля допуска среднего диаметра, то их в обозначении не повторяют, например, 6d,6H. Посадку резьбового соединения обозначают дробью, в числителе которой указывают нормы точности гайки, а в знаменателе – болта, например, $M20\times1.5\ \frac{6H7G}{6d7e}$.

## 2. ТЕХНИКА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

### 2.1. Основные метрологические показатели инструментального микроскопа БМИ

Инструментальный микроскоп БМИ предназначен для измерения углов и линейных размеров резьбовых калибров, метчиков, резьбовых фрез, шаблонов, фасонных резцов и др.

Таблица 2

| | |
|---|---|
| Пределы измерения микроскопа, мм | по оси x 0-150<br>по оси y 0-50 |
| Цена деления для шкалы, мм | 0,001 |
| Цена деления нониуса угломерной шкалы | мин. |
| Увеличение объективов | x1; x1,5; x3; x5 |
| Увеличение визирного микроскопа | x10; x15 |
| Линейное поле зрения, мм | 19,5; 13; 6,5; 3,9 |
| Наклон стойки визирного микроскопа | ± 12°30 |
| Наибольший размер деталей, устанавливаемый в центрах бабки, мм | длина 325<br>диаметр 85 |

### 2.2. Конструкция и принцип действия микроскопа БМИ

На литом чугунном основании 15 (рис.3) имеются направляющие, по которым на шариковых опорах перемещается в двух взаимно перпендикулярных направлениях стол 2. Перемещения стола осуществляются двумя микрометрическими винтами I в пределах 0 ...$25_{10}$

мм. Вставляя между концом микровинта и измерительным упором стола микроскопа концевую меру необходимого размера, увеличивают предел измерения в продольном направлении до 150 мм. Верхняя часть стола с предметным стеклом может поворачиваться относительно основания с целью совмещения линии измерения с направлениями продольного и поперечного перемещения стола. К основанию микроскопа на оси 13 крепится стойка II, по которой перемечается кронштейн 9 с прикрепленным к нему тубусом 5. Стойка II при помощи маховичка 14 может наклоняться вокруг оси 13 в обе стороны на угол 12°30, что необходимо при измерении параметров резьб.

Фокусирование микроскопа осуществляют маховичком 10, перемещающим вверх или вниз кронштейн 9. После грубой настройки кронштейн стопорят винтом 12. Точную настройку производят рифленым кольцом 4, при вращении которого тубус перемешается по направляющим относительно кронштейна. В нижней части тубуса установлен объектив 3, а в верхней – сменная окулярная угломерная головка с визирным окуляром 7 и отсчетным микроскопом 6.

## 2.3. Методика измерения размеров деталей

Методика измерения с помощью инструментального микроскопа БМИ заключается в следующем. Одну из пунктирных линий окулярной головки совмещают с краем поверхности детали и записывают показание микрометрического устройства I, затем эту же линию совмещают с другим краем измеряемой поверхности путем перемещения стола 2 и записывают второе показание. Разность показаний будет равна измеряемой величине детали.

При измерении углов деталь, закрепленная на столе или в центрах, остается неподвижной. Угол профиля резьбы измеряют раздельно для правой и левой сторон профиля, т.е. определяют $\Delta\alpha/2$лев, и $\Delta\alpha/2$прав. Для этого вращением штриховой пластинки окулярной головки 7 пунктирную линию ставят в положение перпендикулярное оси резьбы, и записывают показание угла на отсчетном микроскопе 6. Затем эту же пунктирную линию совмещают с краем профиля резьбы. Разность показаний будет равна половине угла профиля $\Delta\alpha/2$.

С помощью инструментального микроскопа БМИ можно измерять радиусы окружности деталей большого размера и сложной формы косвенным методом. Для этого измеряют длину хорды $\alpha$ и высоту сегмента b и определяют радиус по формуле:

$$R = b/2 + \alpha^2 / 8b$$

## 3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Прежде чем пользоваться прибором, изучите устройство и принцип действия инструментального микроскопа БМИ.
2. Перед работой проверьте заземление прибора.
3. Не включайте вилку электропитания прибора в сеть без разрешения преподавателя или лаборанта.
4. О выявленных неисправностях прибора немедленно сообщите преподавателю или лаборанту.
5. Во время работы быть внимательным и осторожным в обращении с прибором.
6. При выполнении лабораторной работы группой студентов работать на приборе должен только один студент.
7. Категорически запрещается трогать приборы, не относящиеся к выполняемой работе, без разрешения преподавателя.

В начале работы включают освещение микроскопа и наводят окулярную головку 7 на резкое изображение сетки с перекрестием. Затем, вращая окуляр отсчетного микроскопа 6, добиваются резкого изображения угломерной шкалы. Шкала отсчетного микроскопа должна хорошо освещаться, что достигается при помощи регулировки осветительного зеркальца.

В центрах закрепляется установочная оправа, и тубус 5 фокусируется на её лезвие, которое должно быть параллельно направлению продольного перемещения стола, что осуществляется поворотом стола и поперечным перемещением стола микрометрическим винтом I.

Затем в центрах закрепляется измеряемый винт, и тубус 5 фокусируется на исследуемом объекте: грубо – путем перемещения кронштейна при помощи винта 10 и точно – путем вращения рифленого кольца диафрагмы 3. В нужном положении тубус закрепляется винтом 12.

Угломерную шкалу отсчетного микроскопа 6 ставят на нуль и совмещают горизонтальную нить сетки с лезвием установочной оправки. После этого установочную оправку заменяют объектом измерения – винтом с метрической резьбой. Винт следует располагать симметрично относительно круглого отверстия в столе 2 и относительно расхода микрометрических винтов 1. Вращением кольца диафрагмы 3 добиваются четкого изображения измеряемого винта.

При измерении половины угла профиля резьбы для четкой резкости изображения следует наклонять стойку 11 с тубусом вправо или влево на угол подъема резьбы и фиксировать это положение витом наклона 14.

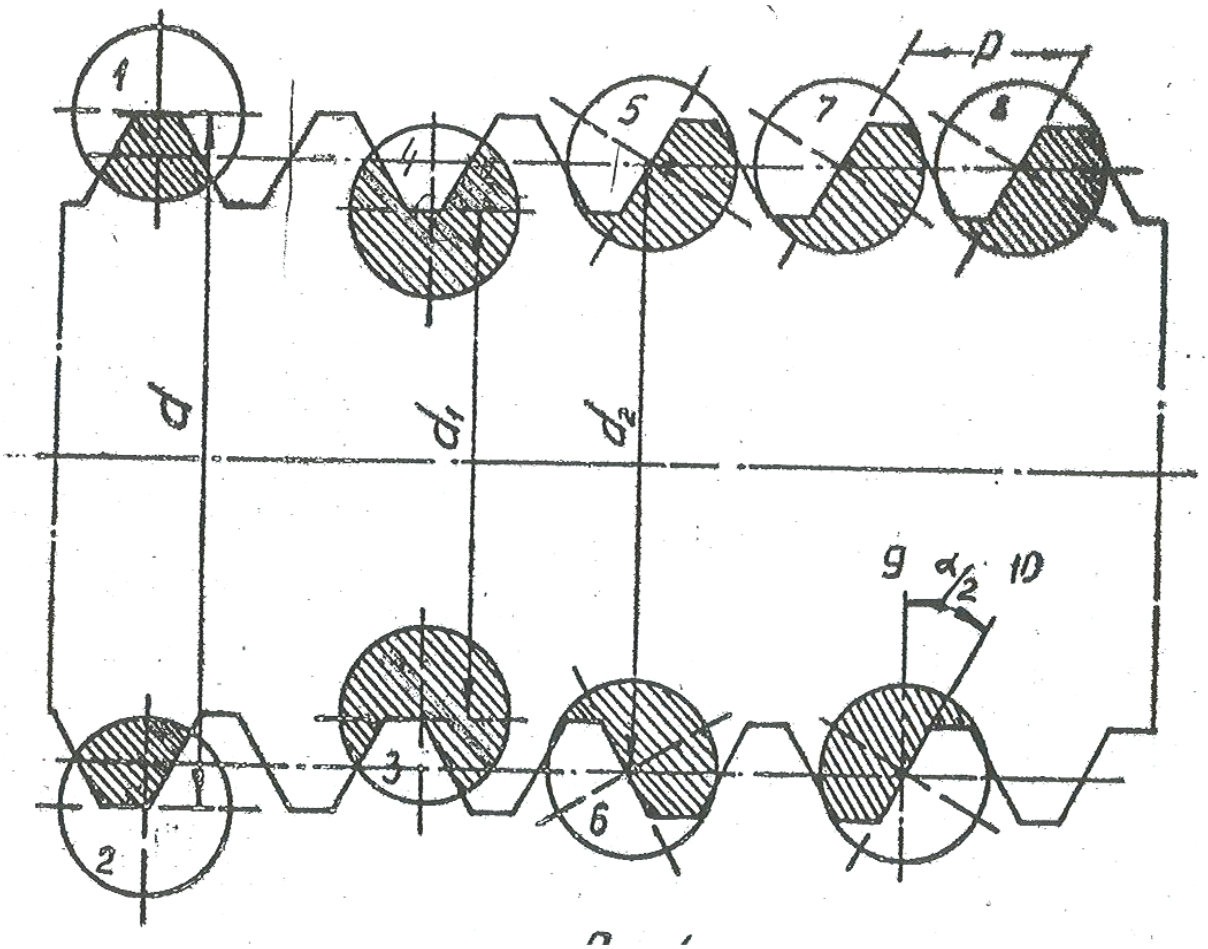


Рис. 4

## 4. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЬБЫ ВИНТА

### 4.1. Измерение наружного и внутреннего диаметров винта

При определении наружного диаметра винта вращением барашка окулярной головки совмещают нулевой штрих градусной шкалы с нулевым штрихом отсчетного микроскопа 6. Перемещая стол 2 поперечным микрометрическим винтом 1, совмещают горизонтальную линию сетки с вершинами резьбы так, чтобы штрихи перекрестия своей шириной наполовину закрывали линию профиля резьбы. Затем делают не менее трех раз отсчет (П1, П2, П3) по микрометрическому винту поперечного перемещения стола. После этого перекрестие путем вращения винта 1 совмещают с противоположной стороной и снимают три отсчета (П4, П5, П6) (рис.4, положение 1-2). Наружный диаметр определяется как разность между величинами отсчетов с одной и с другой сторон резьбы винта. При измерении внутреннего диаметра резьбы проделывают все таким же образом, но только устанавливают горизонтальную линию сетки

по впадине резьбы (рис.4, положение 3-4).

### 4.2.Измерение среднего диаметра

Вертикальную линию сетки совмещают путем вращения барашка окулярной головки и микрометрических винтов 1 со стороной профиля резьбы так, чтобы она своей шириной наполовину закрывала линию контура резьбы и снимают три отсчета по поперечному микрометрическому винту 1 (П1, П2, П3). После этого только поперечной подачей предметного стола совмещают ту же линию сетки с противоположной стороной профиля резьбы и снова делают три отсчета по микрометрическому винту (П4, П5, П6) (рис.4, положение 5-6).

Величина среднего диаметра резьбы равна разности отсчетов с одной и с другой сторон резьбы. Измерение среднего диаметра необходимо проводить по левой и правой сторонам профиля резьбы.

### 4.3. Измерение шага резьбы

При определении шага резьбы вертикальную линию окулярной сетки совмещают со стороной профиля резьбы так же, как и при измерении среднего диаметра (рис.4, положение 7) и по микрометрическому винту продольного перемещения производят три отсчета (П1, П2, П3) каждый раз делая новое совмещение линии сетки с профилем резьбы. Затем продольным перемещением стола линию сетки совмещают со смежной стороной профиля, параллельной первой или отстоящим от неё на несколько витков (рис.4, положение 7-8). Вновь делают три отсчета по микрометрическому винту (П4, П5, П6). Разность между отсчетами, соответствующими установке на смежные параллельные стороны, определяет шаг одного витка. Разность между отсчетами, соответствующими установке сторонам, отстоящими друг от друга на расстоянии в несколько витков, поделенная на число витков, дает величину среднего шага резьбы на этом участке.

Измерение шага следует производить по правым и левым сторонам профиля. За шаг резьбы принимают среднее арифметическое из результатов двух измерений. Измерение среднего шага должно производиться не менее чем в двух местах, равномерно расположенных по длине резьбы винта.

### 4.4. Измерение угла профиля резьбы

Для определения угла профиля резьбы нужно измерить углы, образуемые правой и левой сторонами профиля выступа или впадины с

перпендикуляром к оси резьбы. Для этого, вращая барашек угломерной головки, устанавливают нулевое показание по шкале. При этом перекрестие окулярной штриховой пластинки устанавливают примерно на середину боковой стороны профиля путем перемещения стола микрометрическими винтами I (рис.4, положение 9). Затем повернуть штриховую пластинку визирного окуляра 7 и совместить вертикальную штриховую линию с боковой стороной профиля (рис.4, положение 10), и произвести три замера (П4, П5, П6) по отсчетному микроскопу 6. Таким же образом измеряют другую половину угла профиля.

## 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

При измерении линейных размеров деталей результат отсчета указывается с точностью 0,01 мм, а угловых – с точностью I минута, т.е. с учетом цены деления микрометрических винтов и угломерной шкалы микроскопа БМИ.

Действительное значение измеряемой величины определяется как разность из среднего арифметического значения трех отсчетов:

$$П_{д} = \left(\frac{П_1 + П_2 + П_3}{3}\right) - \left(\frac{П_4 + П_5 + П_6}{3}\right).$$

Отклонение угла профиля определяется как среднее арифметическое значение из измерений половин углов профиля с левой и правой сторон резьбы:

$$\Delta\frac{\alpha}{2} = \frac{\left|\Delta\frac{\alpha}{2}лев\right| + \left|\Delta\frac{\alpha}{2}пр\right|}{2}$$

Результат вычисления линейных размеров записывают с точностью $I0^{-2}$ мм, а угловых – с точностью I минута.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО РАБОТЕ

Отчет по лабораторной работе должен включать:

I. Название лабораторной работы.

2. Формулировку цели работы.

3. Определить для измеряемой резьбы винта:

-номинальные размеры среднего и внутреннего диаметров винта;

-предельные значения диаметров винта в зависимости от заданной точности резьбы и занести результаты в таблицу 3.

4. Вычертить схему полей допусков параметров винта для заданной точности резьбы.

5. Занести результаты измерений и вычислений параметров резьбы в

таблицу 3.
6. Вычертить схему измерения параметров резьбы с учетом среднего приведенного диаметра.
7. Сделать по результатам измерений и вычислений заключение о годности винта.

Таблица 3

| Наименование параметров винта | Номинальное значение | Предельные значения для заданной точности | | Измеренное значение |
|---|---|---|---|---|
| | | Макс. | Мин. | |
| Наружный диаметр | | | | |
| Средний диаметр | | | | |
| Внутренний диаметр | | | | |
| Шаг | | | | |
| Угол | | | | |

## Вопросы для самопроверки

I.Назовите параметры резьбы, погрешности которых влияют на эксплуатационные показатели резьбового соединения.
2.Покажите величины отклонений, определяющих предельные значения диаметров резьбы.
3.Дайте пример условного обозначения точности резьбового соединения.
4.Какие отклонения определяют минимальный зазор в резьбовом соединении?

## Литература

1. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения /А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов – М.: Машиностроение, 1987. - 352 с.
2.Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т.1. /В. И. Анурьев – М.: Машиностроение, 1979. - 728 с.