

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський державний технічний університет  
імені Івана Пулюя

Кафедра приладів  
та контрольно - вимірювальних систем

Методичні вказівки до виконання  
КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ  
з предмету „*Методи і засоби вимірювання механічних величин*”  
3 курс \I – й семестр\

Тернопіль 2012

Дубиняк Т.С. Методичні вказівки до виконання контрольних робіт з предмету „*Методи і засоби вимірювання механічних величин*” 4 курс \I – й семестр\.

У збірник входять: КОНТРОЛЬНА РОБОТА №1 „Вибору універсальних вимірювальних засобів для вимірювання розмірів до 500 мм ”;  
КОНТРОЛЬНА РОБОТА №2 „Дифференціальний метод визначення похибок та Відносний метод визначення похибок *для різних типів механізмів*”;  
КОНТРОЛЬНА РОБОТА №3 „Синусний механізм та Тангенсний механізм”;  
КОНТРОЛЬНА РОБОТА №4 „Кінематичні похибки пристроїв приладів”;  
КОНТРОЛЬНА РОБОТА №5 „Кривошипно-шатуний механізм та Кулісний механізм”;  
КОНТРОЛЬНА РОБОТА №6 „Регулювання пристроїв приладів *для різних типів механізмів*”.

Подані теоретичні відомості з курсу „*Методи і засоби вимірювання механічних величин*” та приведені приклади розв’язку контрольних робіт.

Розроблено у відповідності з навчальним планом спеціальності 7.090901 „Прилади точної механіки” та програми дисципліни „ Методи і засоби вимірювання механічних величин ”.

Рецензенти: к.т.н., доц. Куцевич А.В., ст. викл. Лушпак В.Й.

Відповідальний за випуск доц. М.І. Паламар.

Розглянуто й затверджено на засіданні кафедри приладів та контрольньо-вимірювальних систем.

Протокол №   7   від   24.01.2008   р.

Розглянуто на засіданні методичної ради факультету контрольньо-вимірювальних та радіокомп'ютерних систем.

Протокол №   1   від   22.02.2008   р.

## **Методичні рекомендації для виконання контрольної роботи №1**

### 1 Мета роботи

Метою даної роботи є ознайомлення студентів з основними принципами вибору універсальних вимірювальних засобів для вимірювання розмірів до 500 мм, з встановленням основних параметрів розбраковування та призначенням виробничих допусків різними методами.

### 2 Вихідні дані

Вихідними даними для виконання даної роботи є заданий номінальний розмір, квалітет точності, матеріал деталі, відносна точність виготовлення.

### 3 Теоретичні відомості

3.1 Засіб вимірювання (ЗВ) - технічний засіб, що використовується при вимірюваннях і має нормовані метрологічні характеристики. ЗВ поділяють на міри і вимірювальні прилади.

Міра - це ЗВ, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру.

Вимірювальний прилад (ВП) - це ЗВ, призначений для видачі сигналу вимірювальної інформації в формі, зручній для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

3.2 За призначенням ВП поділяють на:

- універсальні (УВП), призначені для вимірювання одноіменних фізичних величин в різних об'єктів вимірювання (наприклад діаметра, довжини);
- спеціалізовані, що використовуються для вимірювання розмірів окремих видів виробів (наприклад різьб, зубчатих коліс) або окремих параметрів виробів (наприклад параметрів шорсткості, відхилення форми поверхонь).

3.3 За конструкцією УВП поділяють:

- штрихові прилади з ноніусом (штангенінструменти); прилади з мікрометричними гвинтовими парами (мікрометричні інструменти);

- важельно-механічні прилади:
- важельні (мініметри),
- зубчасті (індикатори годинникового типу),
- важельно-зубчасті (важельні мікрометри, індикатори),
- оптико-механічні (оптикатори, оптиметри, контактні інтерферометри, довжиноміри, вимірювальні машини, вимірювальні мікроскопи, проектори).

3.4 Гранична похибка вимірювання - максимально можливе відхилення, на яке результат вимірювання може відрізнятись від дійсного значення вимірюваної величини.

3.5 Допустима похибка вимірювання - нормована величина, що залежить від величини і квалітету вимірюваного розміру.

3.6 Основні складові похибки вимірювання при дії різних умов:

- похибки, що залежать від ЗВ;
- похибки від установчих мір;
- похибки від вимірювальних зусиль;
- похибки від температурних деформацій;
- специфічні похибки при вимірюванні внутрішніх розмірів;

суб'єктивні похибки:

- зчитування,
- присутності,
- дії,
- професійні суб'єктивні похибки.

3.7 Температурний режим - умовна, виражена в градусах Цельсія різниця температур об'єкта вимірювання і ЗВ:

$$\Theta = \sqrt{\left[ \Delta_{t1} \frac{(\alpha_{\zeta A} - \alpha_{\bar{A}})_{\max}}{11,6 \cdot 10^{-6}} \right]^2 + \left[ \Delta_{t2} \frac{\alpha_{\max}}{11,6 \cdot 10^{-6}} \right]^2}$$

де  $\Theta$  - температурний режим;

$\Delta_{t1}$  - допустимі температурні умови вимірювання (відхилення

температури середовища від 20є С);

$\Delta_{t_2}$  - короткочасні коливання температури в процесі вимірювання;

$\alpha_{3B}$  і  $\alpha_D$  - відповідно коефіцієнти лінійного розширення матеріалів 3В і деталі.

3.8 Похибка від температурних деформацій:

$$\Delta L = L \cdot \Theta \cdot 11,6 \cdot 10^{-6}$$

де  $L$  - вимірюваний розмір.

3.9 Параметри розбраковування:

$m$  - кількість деталей, що мають розміри, які виходять за граничні, і прийняті в числі придатних (неправильно прийняті);

$n$  - кількість деталей, що мають розміри, які не виходять за граничні, і забраковані (неправильно забраковані);

$c$  - імовірнісна гранична величина виходу за границі розміру у неправильно прийнятих деталей.

3.10 Для врахування впливу похибок вимірювання передбачені два можливі варіанти встановлення приймальних границь:

– приймальні границі співпадають з нормованим значенням граничних розмірів контролюємого виробу, а можливий вплив похибки вимірювання враховується конструктором при виборі квалітету і виду посадки;

### Приклад розв'язку контрольної задачі №1

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання наступних лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відносна точність	Матеріал
18	P	9	4	КЧ 30
53	F	11	5	40 ХН
240	C	7	3	АЛ 13
400	B	8	2	ЛС 59-1
26	z	11	3	20 Х
90	n	8	2	Сталь 45
180	m	9	5	ЛА 67-2,5
360	p	5	4	Д 16

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення температурного середовища  $20^{\circ}-(dt1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt2=0.4^{\circ}C$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

Знаходимо значення верхнього і нижнього граничних відхилень

18 P9	ES=-0.01800	EI= -0,06100
53 F11	ES= +0,10400	EI= +0,03000
240 C7	ES= +0,35200	EI= +0,28000
400 B8	ES= +1,41000	EI= +0,54000
26 z11	es= +0,14000	ei= +0,08800
90 n8	es= +0,05800	ei= +0,02300
180 m9	es= +0,05500	ei= +0,01500
360 p5	es= +0,08700	ei= +0,06200

Знаходимо значення поля допуску

18 P9	TD=0.043
53 F11	TD=0.074
240 C7	TD=0.072
400 B8	TD=0.087
26 z11	td=0.052
90 n8	td=0.035
180 m9	td=0.04
360 p5	td=0.025

$$A_{i\ddot{a}o(\sigma)} = \frac{\sigma_{\dot{e}ci}}{\dot{O}} \cdot 100\%;$$

$$A_{i\ddot{a}o(\sigma)} = \frac{0.012}{0.043} \cdot 100\% = 0.279$$

$$A_{i\ddot{a}o(\sigma)} = \frac{0.04}{0.074} \cdot 100\% = 0.54$$

$$A_{i\ddot{a}o(\sigma)} = \frac{0.012}{0.072} \cdot 100\% = 0.166$$

$$A_{i\ddot{a}o(\sigma)} = \frac{0.024}{0.087} \cdot 100\% = 0.276$$

$$A_{i\ddot{a}o(\sigma)} = \frac{0.012}{0.035} \cdot 100\% = 0.576$$

$$A_{i\ddot{a}o(\sigma)} = \frac{0.012}{0.035} \cdot 100\% = 0.343$$

$$A_{i\ddot{a}o(\sigma)} = \frac{0.03}{0.04} \cdot 100\% = 0.75$$

$$A_{i\ddot{a}o(\sigma)} = \frac{0.01}{0.025} \cdot 100\% = 0.04$$

Виходячи з параметру  $A_{мет(\sigma)}$  визначаємо параметри розбравки

Номін. розмір, мм	m, %	n, %	c/Г
18	0.37-0.39	0.7-0.75	0.01
53	0.37-0.39	0.7-0.75	0.01
240	0.37-0.39	0.7-0.75	0.01
400	0.37-0.39	0.7-0.75	0.01
26	0.37-0.39	0.7-0.75	0.01
90	0.37-0.39	0.7-0.75	0.01
180	0.37-0.39	0.7-0.75	0.01
360	0.37-0.39	0.7-0.75	0.01

Виходячи з температурного режиму матеріалів деталей і вимірювальних засобів визначаємо похибку розміру

$$\Delta l = l(\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2)$$

$$\Delta l = \Delta t \cdot l(\alpha_1 - \alpha_2)$$

$$\Delta l_1 = 19.6 \cdot 18(11.1 - 11.8) \cdot 10^{-6} = 0.00024696$$

$$\Delta l_2 = 19.6 \cdot 53(12.2 - 11.8) \cdot 10^{-6} = 0.0004155$$

$$\Delta l_3 = 19.6 \cdot 240(22 - 11.8) \cdot 10^{-6} = 0.04798$$

$$\Delta l_4 = 19.6 \cdot 400(17 - 11.8) \cdot 10^{-6} = 0.040768$$

$$\Delta l_5 = 19.6 \cdot 26(12.2 - 11.8) \cdot 10^{-6} = 0.0002038$$

$$\Delta l_6 = 19.6 \cdot 90(12.2 - 11.8) \cdot 10^{-6} = 0.0007056$$

$$\Delta l_7 = 19.6 \cdot 180(17 - 11.8) \cdot 10^{-6} = 0.0183456$$

$$\Delta l_8 = 19.6 \cdot 360(26.1 - 11.8) \cdot 10^{-6} = 1.009$$

Контроль розмірів проводиться гладкими граничними калібрами. В іншому випадку при дрібносерійному виробництві використовуються вимірювальні засоби.

Для заданих розмірів вони будуть:

18 P9	Мікрометр гладкий МК 25 ГОСТ 6507-90 (Похибка 6 мкм)
53 F11	Мікрометр гладкий МК 75 ГОСТ 6507-90 (Похибка 8 мкм)
240 C7	Штангенциркуль ШЦ-I-250-0,05-1 ГОСТ 166-89 (Похибка 14 мкм)
400 B8	Штангенциркуль ШЦ-I-500-0,05-1 ГОСТ 166-89 (Похибка 18 мкм)
26 z11	Мікрометр гладкий МК 50 ГОСТ 6507-90 (Похибка 6 мкм)
90 n8	Мікрометр гладкий МК 100 ГОСТ 6507-90 (Похибка 10 мкм)
180 m9	Штангенциркуль ШЦ-I-200-0,05-1 ГОСТ 166-89 (Похибка 14 мкм)
360 p5	Штангенциркуль ШЦ-I-400-0,05-1 ГОСТ 166-89 (Похибка 18 мкм)



## Методичні рекомендації для виконання контрольної роботи №2

### 2.1 Дифференціальний метод визначення похибок

Дифференціальний метод є єдиним серед методів знаходження похибок (відомі дифференціальний метод перетвореного механізму, геометричний метод, метод планів малих переміщень і ін.) чисто аналітичним методом. Інші методи містять як графічні, так і аналітичні методи аналізу, тобто є графоаналітичними.

Дифференціальний метод ґрунтується на диференціюванні рівняння:

$$S_{\dot{a}\ddot{o}} = f(S_{\dot{a}\ddot{o}}, p_1, p_2, \dots, p_m), \quad (2.1)$$

де  $p_1, p_2, \dots, p_m$  – значення параметрів, що впливають на вихідний і входять в кінематичний ланцюг механізму.

Повні дифференціальні рівняння (2.1):

$$dS_{\dot{a}\ddot{o}} = \frac{\partial f}{\partial S_{\dot{a}\ddot{o}}} dS_{\dot{a}\ddot{o}} + \frac{\partial f}{\partial p_1} dp_1 + \frac{\partial f}{\partial p_2} dp_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial p_m} dp_m.$$

Замінюючи нескінченно малі прирости  $dp_i$  скінченими  $\Delta p_i$  і позначаючи  $\frac{\partial f}{\partial p_i} = \xi_i$ , отримаємо вираз похибки положення веденої ланки механізму:

$$\Delta S_{\dot{a}\ddot{o}} = \Delta S_{\dot{a}\ddot{o}} \xi_{\dot{a}\ddot{o}} + \Delta p_1 \xi_1 + \Delta p_2 \xi_2 + \dots + \Delta p_m \xi_m = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta p_i \xi_i,$$

де  $n$  - загальна кількість похибок;

$\xi_i$  - коефіцієнт впливу  $i$ -ї похибки;

$\Delta p_i$  - відхилення  $i$ -го параметру від номінального розміру.

Коефіцієнти впливу  $\xi_i$  є фактично передаточним відношенням  $i$ -ї похибки. Вони визначають вплив окремої похибки на положення веденої ланки. В свою чергу,  $\Delta p_i$  є фактично похибкою параметру  $p_i$ . Якщо параметри  $p_i$  - лінійні розміри, то їх похибки визначаються допуском розміру  $T_i$ , тобто  $\Delta p_i = T_i$ .

Розглянемо приклад використання дифференціального методу на прикладі синусно-зубчатого механізму (рисунок 2.1).

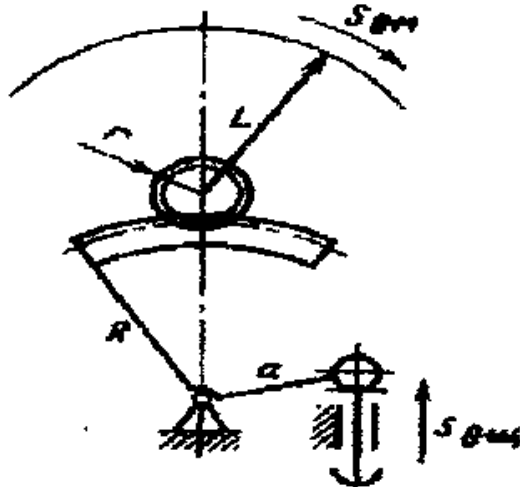


Рисунок 2.1 – Схема синусно-зубчатого механізму

Механізм складається з синусного важеля довжиною  $a$  і зубчатої передачі з колесами радіусами  $R$  і  $r$ .

Функція перетворення механізму визначається формулою:

$$S_{a\ddot{\theta}} = \arcsin\left(\frac{S_{\ddot{\theta}}}{a}\right) \frac{R}{r} L. \quad (2.5)$$

При розкладанні залежності (2.5) в ряд отримуємо наближену залежність функції перетворення:

$$S_{a\ddot{\theta}} \approx \left( \frac{1}{6\dot{a}^3} S_{\ddot{\theta}}^3 + \frac{1}{\dot{a}} S_{\ddot{\theta}} \right) \frac{R}{r} L. \quad (2.6)$$

Використаємо диференціальний метод визначення похибки положення введеної ланки для обох залежностей (2.5) і (2.6).

Коефіцієнт впливу для точної формули (2.5)

$$\xi_{a\ddot{\theta}} = \frac{\partial S_{a\ddot{\theta}}}{\partial S_{\ddot{\theta}}} = \frac{1}{\dot{a}^2 \sqrt{1 - \left(\frac{S_{\ddot{\theta}}}{\dot{a}}\right)^2}} \frac{R}{r} L, \quad (2.7)$$

$$\xi_{\dot{a}} = \frac{\partial S_{a\ddot{\theta}}}{\partial \dot{a}} = \frac{S_{\ddot{\theta}}}{\dot{a}^2 \sqrt{1 - \left(\frac{S_{\ddot{\theta}}}{\dot{a}}\right)^2}} \frac{R}{r} L, \quad (2.8)$$

$$\xi_R = \frac{\partial S_{a\ddot{\theta}}}{\partial R} = \arcsin\left(\frac{S_{\ddot{\theta}}}{\dot{a}}\right) \frac{L}{r}, \quad (2.9)$$

$$\xi_r = \frac{\partial S_{\dot{a}\dot{\delta}\ddot{\delta}}}{\partial r} = -\arcsin\left(\frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}}{\dot{a}}\right)\frac{R}{r^2}L, \quad (2.10)$$

$$\xi_L = \frac{\partial S_{\dot{a}\dot{\delta}\ddot{\delta}}}{\partial L} = \arcsin\left(\frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}}{\dot{a}}\right)\frac{R}{r}. \quad (2.11)$$

Похибка положення у відповідності з (2.4):

$$\Delta S_{\dot{a}\dot{\delta}\ddot{\delta}} = \frac{RL}{ar} \left[ \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}}{a}\right)^2}} \Delta \delta_m - \frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}}{a\sqrt{1-\left(\frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}}{a}\right)^2}} \Delta \alpha + \arcsin\left(\frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}}{a}\right) \frac{a}{R} \Delta R - \arcsin\left(\frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}}{a}\right) \frac{a}{r} \Delta r + \arcsin\left(\frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}}{a}\right) \right] \quad (2.12)$$

Коефіцієнт впливу для наближеної формули (2.6):

$$\xi_{\dot{a}\dot{\delta}} = \frac{\partial S_{\dot{a}\dot{\delta}\ddot{\delta}}}{\partial S_{\dot{a}\dot{\delta}}} = \left( \frac{1}{3a^4} S_{\dot{a}\dot{\delta}}^3 + \frac{1}{a} \right) \frac{R}{r} L, \quad (2.13)$$

$$\xi_a = \frac{\partial S_{\dot{a}\dot{\delta}\ddot{\delta}}}{\partial a} = \left( \frac{1}{2a^4} S_{\dot{a}\dot{\delta}}^3 + \frac{1}{a} S_{\dot{a}\dot{\delta}} \right) \frac{R}{r} L, \quad (2.14)$$

$$\xi_R = \frac{\partial S_{\dot{a}\dot{\delta}\ddot{\delta}}}{\partial R} = \left( \frac{1}{6a^3} S_{\dot{a}\dot{\delta}}^3 + \frac{1}{a} S_{\dot{a}\dot{\delta}} \right) \frac{L}{r}, \quad (2.15)$$

$$\xi_r = \frac{\partial S_{\dot{a}\dot{\delta}\ddot{\delta}}}{\partial r} = \left( \frac{1}{6a^3} S_{\dot{a}\dot{\delta}}^3 + \frac{1}{\dot{a}} S_{\dot{a}\dot{\delta}} \right) \frac{R}{r^2} L, \quad (2.16)$$

$$\xi_L = \frac{\partial S_{\dot{a}\dot{\delta}\ddot{\delta}}}{\partial L} = \left( \frac{1}{6a^3} S_{\dot{a}\dot{\delta}}^3 + \frac{1}{\dot{a}} S_{\dot{a}\dot{\delta}} \right) \frac{R}{r}. \quad (2.17)$$

Похибка положення:

$$\Delta S_{\dot{a}\dot{\delta}\ddot{\delta}} = \frac{RL}{ar} \left[ \left( \frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}^2}{3\dot{a}^2} + 1 \right) \Delta S_{\dot{a}\dot{\delta}} - \left( \frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}^3}{2a^3} + \frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}}{a} \right) \Delta a + \left( \frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}^3}{6a^3} + \frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}}{\dot{a}} \right) \frac{a}{R} \Delta R - \left( \frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}^3}{6\dot{a}^3} + \frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}}{\dot{a}} \right) \frac{a}{R} \Delta R - \left( \frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}^3}{6a^3} + \frac{S_{\dot{a}\dot{\delta}}}{\dot{a}} \right) \frac{a}{r} \Delta r \right] \quad (2.18)$$

## Приклад розв'язку задачі 2.1 контрольної роботи

Визначити похибку положення синусно-зубчастого механізму (рисунок 2.1) диференціальним методом для найбільшого переміщення ведучої ланки  $S_{\dot{a}\delta\max} = 0.14\dot{i}$  , при наступних параметрах:  $a = 5.4\dot{i}$  , точність по ІТ7;  $T_a = 12\dot{i}$  ;  $R = 90\dot{i}$  , точність по ІТ7,  $TR = 35\dot{i}$  ;  $r = 2\dot{i}$  , точність по ІТ7,  $T_r = 10\dot{i}$  ;  $L = 90\dot{i}$  , точність по ІТ12,  $T\ddot{A} = 300\dot{i}$  .

Прийmemo, що похибка переміщення ведучої ланки  $\Delta S_{\dot{a}\delta} = 0$  (фактично похибка встановлення приладу на нуль).

Для визначення похибки положення використаємо залежність (2.12):

$$\Delta S_{\dot{a}\delta\delta} = \frac{90}{5.4} \frac{60}{2} \left[ - \frac{0.14}{5.4 \sqrt{1 - \left(\frac{0.14}{5.4}\right)^2}} 0.012 + \arcsin\left(\frac{0.14}{5.4}\right) \frac{5.4}{90} 0.035 - \arcsin\left(\frac{0.14}{5.4}\right) \frac{5.4}{2} 0.010 + \arcsin\left(\frac{0.14}{5.4}\right) \frac{5.4}{2} 0.010 \right]$$

Знак "-" означає, що внаслідок кінематичних похибок стрілка механізму буде "відставати" від номінального положення.

Для наближеної залежності (2.18):

$$\Delta S_{ck} = 500 \left[ - \left( \frac{0.14^3}{2 \cdot 5.4^3} + \frac{0.14}{5.4} \right) 0.012 + \left( \frac{0.14^3}{6 \cdot 5.4^3} + \frac{0.14}{5.4} \right) \frac{5.4}{90} 0.035 - \left( \frac{0.14^3}{6 \cdot 5.4^3} + \frac{0.14}{5.4} \right) \frac{5.4}{2} 0.01 + \left( \frac{0.14^3}{6 \cdot 5.4^3} + \frac{0.14}{5.4} \right) \frac{5.4}{2} 0.01 \right]$$

Порівняння результатів розрахунків по точній (2.12) і наближеній (2.18) формулах показує, що вони практично ідентичні.

Це дає можливість використовувати наближені формули замість точних, якщо це необхідно, в точних розрахунках механізмів.

Слід також значити, що для зручності розрахунку  $\Delta S_{\dot{a}\delta\delta}$  всюди приймалися додатні значення відхилень параметрів, хоча в конструкторській практиці всі охоплювальні розміри мають допуск "в матеріал" деталі, тобто від'ємні відхилення. Підстановка у вирази (2.12) і (2.18) відхилень  $\Delta p_i$  з протилежним знаком призведе до зміни знака результату. В даному прикладі це не має суттєвого значення, а в

реальних механізмах слід враховувати дійсні відхилення параметрів.

## 2.2 Відносний метод, метод визначення похибок

Відносний метод є похідним від диференціального. В деяких випадках функція перетворення пристроїв приладів є постійною величиною і зв'язок між рухом веденої ланки  $S_{вих}$  і ведучої ланки  $S_{вх}$  замість виразу (2.19):

$$S_{\dot{a}\ddot{o}} = f(S_{\dot{a}\ddot{o}}, p_1, p_2, \dots, p_m), \quad (2.19)$$

де  $p_1, p_2, \dots, p_m$  - значення параметрів, що впливають на вихідний сигнал;

може бути представлена в наступному вигляді:

$$S_{\dot{a}\ddot{o}} = U_A S_{\dot{a}\ddot{o}}, \quad (2.20)$$

де  $U_A$  - постійне, лінійне передаточне відношення, яке визначається добутком декількох множників.

До таких механізмів відносять: фрикційні передачі і важильні механізми. Свою назву метод отримав завдяки використанню в ньому відносних похибок лінійних розмірів елементів – довжин важелів, радіусів фрикційних роликів і т. ін. Якщо розмір  $l$  має відхилення  $\Delta l$ , то відносна похибка розміру  $l$ :

$$\delta_l = \frac{\Delta l}{l}. \quad (2.21)$$

Враховуючи вираз лінійного передаточного відношення :

$$U_A = \frac{\omega_{\dot{a}\ddot{o}} \cdot T_{\dot{a}\ddot{o}}}{\omega_{\dot{a}\ddot{o}} \cdot T_{\dot{a}\ddot{o}}} = U \frac{T_{\dot{a}\ddot{o}}}{T_{\dot{a}\ddot{o}}} \quad (2.22)$$

де  $T_{\dot{a}\ddot{o}}, T_{\dot{a}\ddot{o}}$  – радіуси контактуючих точок вихідної і вхідної ланок;

$\omega_{\dot{a}\ddot{o}}, \omega_{\dot{a}\ddot{o}}$  – миттєві швидкості точок вихідної і вхідної ланок.

На основі залежності (2.20) знайдемо функцію перетворення механізму (рисунок 2.2):

$$S_{\dot{a}\ddot{o}} = S_{\dot{a}\ddot{o}} \frac{l_2 \cdot l_4 \cdot l_6}{l_1 \cdot l_3 \cdot l_5} \dots \quad (2.23)$$

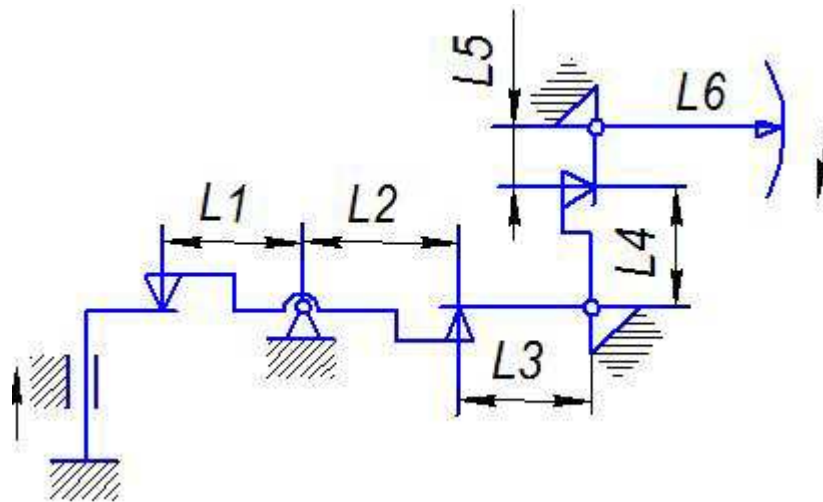


Рисунок 2.2 - Схема важільного механізму

За формулою (2.4) похибка положення механізму (при умові  $\Delta S_{\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}} = 0$ ):

$$\Delta S_{\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}} = \Delta l_2 \frac{\partial S_{\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}}}{\partial l_2} + \Delta l_4 \frac{\partial S_{\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}}}{\partial l_4} + \Delta l_6 \frac{\partial S_{\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}}}{\partial l_6} + \Delta l_2 \frac{\partial S_{\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}}}{\partial l_2} + \Delta l_1 \frac{\partial S_{\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}}}{\partial l_1} + \Delta l_3 \frac{\partial S_{\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}}}{\partial l_3} + \Delta l_5 \frac{\partial S_{\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}}}{\partial l_5}. \quad (2.27)$$

Очевидно, що ведені ланки в рівнянні відносних похибок мають додатній знак, а ведучі - від'ємний. Тоді можемо записати загальну формулу з використанням методу відносних похибок:

$$\frac{\Delta S_{\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}}}{S_{\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}}} = \sum_i \frac{\Delta l_{i\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}}}{l_{i\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}}} - \sum_j \frac{\Delta l_{j\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}}}{l_{j\dot{a}\ddot{e}\ddot{o}}}. \quad (2.28)$$

З неї випливає, що відносна похибка положення механізму рівна різниці сум відносних похибок ведучих і ведених ланок.

## Приклад виконання задачі 2.2 контрольної роботи

Визначити відносним методом похибку положення механізму (рисунок 2.2), при наступних значеннях параметрів:  $l_1 = 2\text{ м}$  ,  $l_2 = 100\text{ м}$  ,  $l_3 = 10\text{ м}$  ,  $l_4 = 20\text{ м}$  ,  $l_5 = 4\text{ м}$  ,  $l_6 = 40\text{ м}$  ,  $S_{\dot{a}\ddot{o}} = 0.1\text{ м}$  .

Приймаємо точність виготовлення ланок  $l_1, l_2, l_3, l_4$  по 7 квалітету ІТ7 (ГОСТ 25346 – 82),  $l_5, l_6$  – по 12 квалітету ІТ 12 (ГОСТ25346 – 82):

$l_1 = 2\text{ м}$  , точність по ІТ 7, допуск  $T_{l_1} = 10\text{ мкм}$  ;

$l_2 = 100\text{ м}$  , точність по ІТ 7, допуск  $T_{l_2} = 35\text{ мкм}$  ;

$l_3 = 10\text{ м}$  , точність по ІТ 7, допуск  $T_{l_3} = 15\text{ мкм}$  ;

$l_4 = 20\text{ м}$  , точність по ІТ 7, допуск  $T_{l_4} = 21\text{ мкм}$  ;

$l_5 = 4\text{ м}$  , точність по ІТ 12, допуск  $T_{l_5} = 120\text{ мкм}$  ;

$l_6 = 40\text{ м}$  , точність по ІТ 12, допуск  $T_{l_6} = 250\text{ мкм}$  .

Тоді за формулою (2.28):

$$\frac{\Delta S_{\dot{a}\ddot{o}}}{S_{\dot{a}\ddot{o}}} = \left( \frac{\Delta l_2}{l_2} + \frac{\Delta l_4}{l_4} + \frac{\Delta l_6}{l_6} \right) - \left( \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_3}{l_3} + \frac{\Delta l_5}{l_5} \right) = \left( \frac{0.035}{100} + \frac{0.21}{20} + \frac{0.25}{40} \right) - \left( \frac{0.01}{2} + \frac{0.015}{10} + \frac{0.12}{4} \right)$$

Незалежно від переміщення ведучої ланки механізм має на виході похибку менше 3%. Для знаходження значення абсолютної похибки  $S_{\dot{a}\ddot{o}}$  враховуємо, що :

$$\Delta S_{\dot{a}\ddot{o}} = (-0,0285) = S_{\dot{a}\ddot{o}} \cdot U_A \cdot (-0.0285) = 0.1 \frac{100 \cdot 20 \cdot 40}{2 \cdot 10 \cdot 4} \cdot (-0.0285) = -2,85\text{ м}$$

Від'ємний знак результату показує, що при таких похибках довжин важелів ведена ланка не дійде до свого ідеального положення

- вводиться виробничий допуск (зміщення границь з врахуванням можливого впливу ЗВ);

- виробничий допуск по СТ С38 303-76,



## Порядок виконання роботи

1 Згідно СТ СЕВ 145-88 в залежності від номінального розміру і квалітету точності встановити величину допуску.

2 За СТ СЕВ 303-76 встановити допустиму похибку вимірювання лінійного розміру.

3 Згідно таблиць 1.19-1.24 (2.с.47-54) виписати закодовані позначення ВЗ.

4 Використовуючи табл.1.16-1.17 розкодувати ці позначення. Для отриманих ВЗ визначити граничну похибку і інші технічні характеристики (ціну поділки, діапазон вимірювання, температурний режим).

5 Проаналізувати весь перелік ВЗ і вибрати оптимальний варіант\*.

6 Отримані результати занести в таблицю (додаток 1).

7 За визначеним температурним режимом і короткочасними коливаннями температури оточуючого середовища, використовуючи графіки 1.11, 1.12, 1.13 (2.С.30) встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури  $20\text{eC} - d_{11}$ .

8 Визначити відносну похибку вимірювання.

9 За заданою відотною точністю виготовлення і відносній похибці вимірювання, використовуючи графіки 1.7, 1.8, 1.9 (2.с. 25-27) встановити основні параметри розбраковування ( $m, n, c/IT$ ).

10 Результати роботи занести в таблицю згідно додатку 1.

11 Зробити висновки щодо шляхів, якими можна досягти зменшення параметрів  $m, n, c$ .

\*Гранична похибка вимірювань не повинна перевищувати допустиму (за виключенням окремих технічно обгрунтованих випадків рекомендується вибирати ЗВ, які забезпечують не більший ніж двохкратний запас точності). Діапазон вимірювання повинен перевищувати допуск.

Додаток 1	Параметри розбракування	С/ЛТ	17	
		n	16	
		Г	15	
	Відносна похибка вимірювання A%		14	
	Контрольно-вимірювальний прилад і його характеристика	Температурний режим $\Theta$ , °С	13	
		Короткочасні коливання температури в процесі вимірювання, °С	12	
		Допустимі температурні умови вимірювання, °С	11	
		Гранична похибка вимірювального засобу $\sigma$ , мкм	10	
		Ціна поділки, мм	9	
		Діапазон вимірювання, мм	8	
		Назва засобу вимірювання, тип	7	
	Допустима похибка вимірювання $[\sigma]$ , МКМ		6	
	Допуск, мкм		5	
	Матеріал деталі		4	
	Відносна точність виготовлення		3	
	Контрольований розмір		2	
	№ п/п		1	



### 3 Синусний механізм

Синусний механізм використовується для перетворення поступального руху в обертовий і навпаки (рисунок 3)

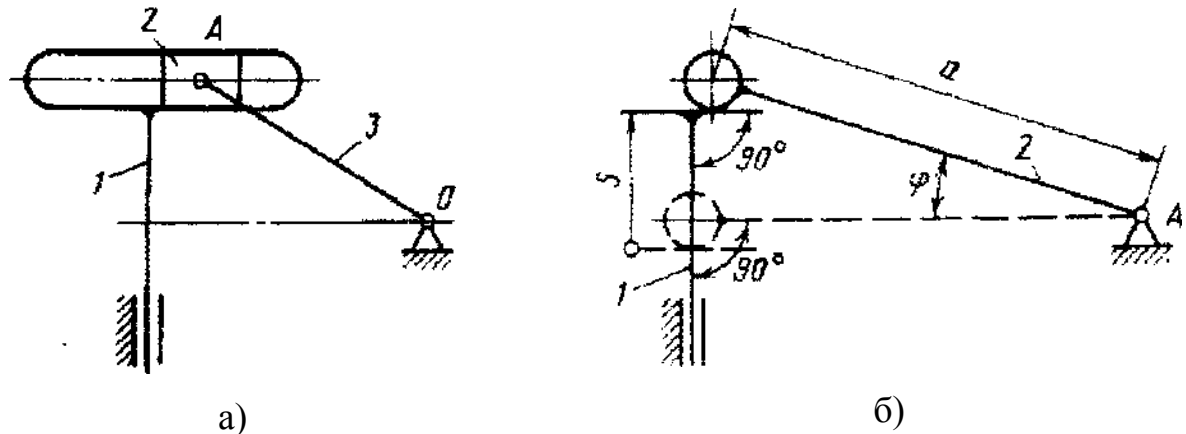


Рисунок 3 -Схема синусного механізму

Конструктивне виконання синусного механізму можливе у двох варіантах, першому варіанті (рисунок 3, а) механізм має ковзаючий повзун, що вмонтований в щілину штовхача. В другому випадку (рисунок 3, б) повзун замінюється як вища кінематична пара спряження сфери з площиною (точковий контакт) . Ведучою ланкою може бути як важіль так і штовхач.

Кут повороту важеля 2 як функція від переміщення S штовхача 1:

$$\varphi = \arcsin \frac{S}{a} \quad (3.1)$$

Передаточне відношення(функція):

$$U_{21} = \frac{d\varphi}{dS} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{S}{a}\right)^2}} \quad (3.2)$$

Для малих переміщень  $S \ll a$  :  $U_{21} \approx 1 = const$  .

При відхиленні передаточного відношення від одиниці не  $\frac{S}{a} \leq 0,4$  перевищують 10%. При розкладанні формули (3.1) в ряд із збереженням перших двох членів:

$$\varphi = \frac{S}{a} + \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{S}{a}\right)^2 \quad (3.3)$$

Для  $\frac{S}{a} \leq 0,4$  похибка використання даного ряду замість точної формули не перевищує 0,5%.

Функцію перетворення ідеального механізму приймемо лінійною, оскільки при цьому прилад буде мати рівномірну шкалу:

$$\varphi_i = k_s \cdot S \quad (3.4)$$

де  $k_s$  - коефіцієнт пропорційності.

Похибка схеми синусного механізму :

$$\Delta S = \varphi - \varphi_i = \arcsin \frac{S}{a} - k_s \cdot S, \quad (3.5)$$

або, використовуючи залежність (3.3);

$$\Delta S_{\text{нб}} = (1 - ak_s) \frac{S}{a} + \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{S}{a}\right)^3 \quad (3.6)$$

### Приклад виконання задачі 3.1 контрольної роботи.

Визначити похибку схеми синусного механізму (рисунок 3, б), якщо ведучою ланкою є штовхач 1, при наступних даних:

граничні значення переміщень:  $S_i = \pm 1 \text{ м}$

найбільший кут повороту важеля:  $\varphi_i = \pm 10^\circ$

Розрахунок можна виконати за формулами (3.5) і (3.6), для яких необхідно додатково визначити  $k_s$  і  $a$ . Скориставшись виразом (3.4) отримаємо:

$$k_s = \frac{\varphi_m}{S_m} = \frac{10 \cdot 3,14}{180 \cdot 1,0} = 0,17 \text{ рад}^{-1}$$

За рисунком 3, б можемо записати:  $S_M = a \cdot \sin \varphi_M$

$$\text{Звідки } a = \frac{S_M}{\sin \varphi_M} = \frac{1,0}{\sin 10^\circ} = 5,67 \text{ м}$$

Похибка схеми є функцією переміщення  $S$ . Знайдемо вираз її максимуму і значення  $S$ , при яких він буде. Для цього знайдемо часткову похідну використавши точну формулу (3.5):

$$\Delta S_{\text{нб}}' = \left( \arcsin \frac{S}{a} - k_s S \right)' = \frac{1}{a \sqrt{1 - \left( \frac{S}{a} \right)^2}} - k_s$$

$\Delta S_{\text{нб}}$  по  $S$

Розв'язуючи отримане рівняння відносно  $S$  при  $\Delta S_{\text{нб}}' = 0$ , отримаємо

$$S_0 = \pm a \sqrt{1 - (k_s a)^2}$$

В точці  $S_0$  похибка схеми буде приймати найбільше значення. Саме значення цієї похибки отримаємо, підставляючи вираз у формулу (3.5) замість  $S$ :

$$\Delta S_{\dot{\delta}_{\max}} = \arcsin \sqrt{1 - \frac{1}{(k_s a)^2}} - k_s \sqrt{1 - \frac{1}{(k_s a)^2}}$$

Підставляючи знайдені значення  $k_s$  і  $a$  в ці формули, отримаємо  $\Delta S_{\dot{\delta}_{\max}} = -3,4 \cdot 10^{-4} \delta \ddot{a}^3 \dot{a} i$  при  $S_0 = 0,57 \dot{i}$  .

Графічно залежність похибки схеми від  $S$  представлена на рисунку 3.2.

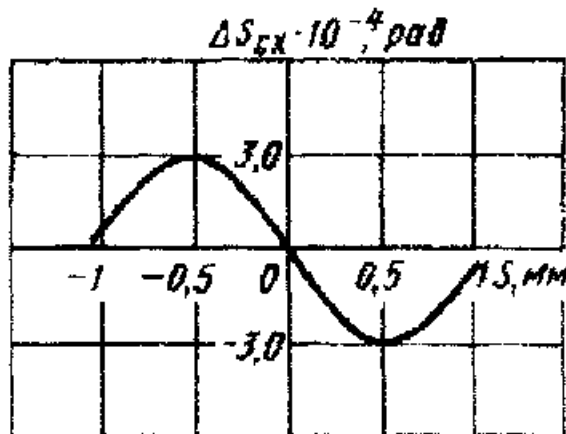


Рисунок 3.2 - Зміна похибки схеми синусного механізму в залежності від переміщення пгговхача

Видно, що для додатніх значень  $S$  похибка схеми від'ємна, а при зміні знаку переміщення, міняє знак і похибка схеми. Величина  $\Delta S_{\dot{\delta}} = 0$  при і  $S = 0$  при  $S = \pm S_m = \pm 1,0 \dot{i}$

Максимальне значення похибки схеми, таким чином, симетричне, тобто:

$|\Delta S_{\dot{\delta}_{\max}}| = 3,4 \cdot 10^{-4} \delta \ddot{a}^3 \dot{a} i$  при  $S_0 = \pm 0,57$  мм, або в градусній мірі радіан  $\approx 1,2'$ .

Таким чином, для даного механізму похибка схеми складає малу дол близько 4% граничного значення кута повороту важеля.

### 3.2 Тангенсний механізм

Тангенсний механізм так само як і синусний служить для перетворення поступального руху в обертовий і навпаки (рисунок 3.3).

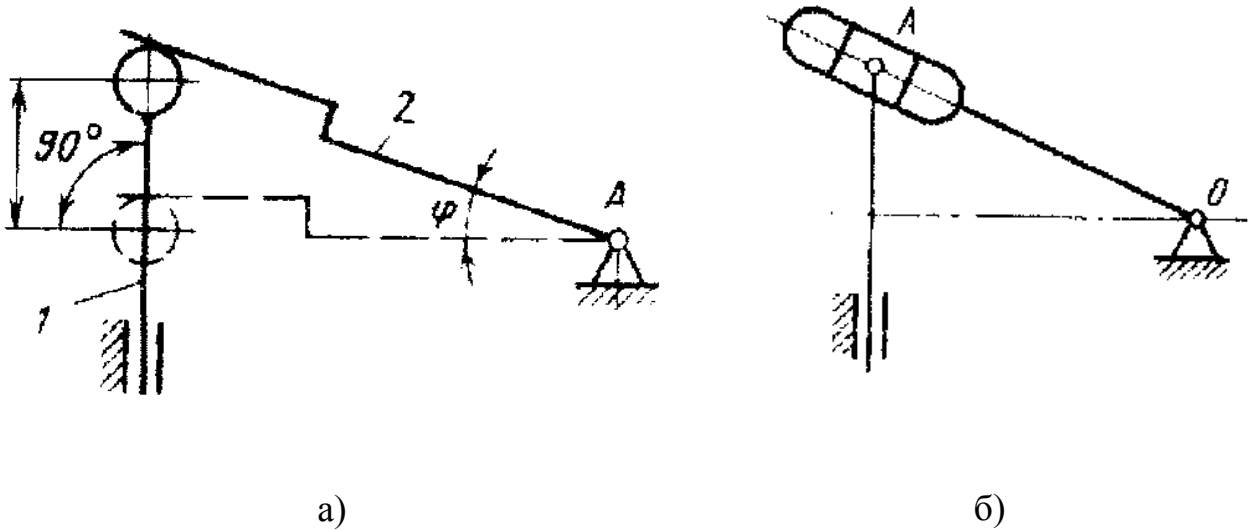


Рисунок 3.3 - Схема тангенсного механізму

Конструктивне виконання цього механізму також може бути з ковзаючим повзуном (рисунок 3.3, а) і з вищою кінематичною парою сфера-площина (рисунок 3.3, б).

Рухом "входу" є переміщення штовхача 1  $S$ , а "виходу"- поворот важеля 2 на кут  $\varphi$ . Функція зв'язку кута  $\varphi$  з переміщенням  $S$  буде мати вигляд:

$$\varphi = \arctg \frac{S}{a} \quad (3.7)$$

Передаточне відношення

$$U_{21} = \frac{d\varphi}{dS} = \frac{1}{1 + \left(\frac{S}{a}\right)^2} \quad (3.8)$$

є функцією переміщення штовхача  $S$ . Тільки при малих значеннях  $S \ll a$



$$U_{21} \approx 1 = \text{const}.$$

Для забезпечення 10%-ної похибки лінеаризації функції (7) (відхилення  $U_{21}$  від одиниці) необхідно, щоб  $\frac{S}{a} \leq 0,3$ . Таким чином, в порівнянні з синусним механізмом подібного типу, тангенсний механізм більш чутливий до переміщень  $S$ .

При розкладанні функції  $\text{arctg}$  в ряд замість формули (3.7) отримаємо

$$\varphi = \frac{S}{a} - \frac{1}{3} \left( \frac{S}{a} \right)^3 \quad (3.9)$$

Для  $\frac{S}{a} \leq 0,4$  похибка використання даного виразу замість (3.7) не перевищує 0,5%.

Ідеальну функцію перетворення також приймемо лінійною:

$$\varphi_i = k_s \cdot S \quad (3.10)$$

Похибка схеми:

$$\Delta S_{\text{сб}} = \varphi - \varphi_i = \text{arctg} \left( \frac{S}{a} \right) - k_s \cdot S, \quad (3.11)$$

а на основі формули (3.9):

$$\Delta S_{\text{нб}} = (1 - ak_s) \frac{S}{a} + \frac{1}{3} \left( \frac{S}{a} \right)^3. \quad (3.12)$$

### Приклад виконання задачі 3.2 контрольної роботи

Визначити похибку схеми тангенсного механізму (рисунок 3.3, б) якщо ведучою ланкою є штовхач 1, при наступних даних :

- граничні значення переміщень:  $S_i = \pm 1\text{ мм}$  ,
- найбільший кут повороту важеля :  $\varphi_i = \pm 10^\circ$  .

Для розрахунку похибки схеми використовують формулу (3.11), в якій відповідно до прикладу задачі 1 з синусним механізмом  $k_s = 0.17\text{ мм}^{-1}$ ,  $S$  змінюється від 0 до  $\pm 1\text{ мм}$  .

Відповідно до рисунку 3  $S = a \cdot \text{tg} \varphi$ , звідки знаходимо

$$a = \frac{S_m}{\text{tg} \varphi_m} = \frac{1,0}{\text{tg} 10^\circ} = 5,67\text{ мм} .$$

Часткова похідна похибки схеми на основі формули (3.11):

$$\Delta S'_{\text{н} \delta} = \left( \text{arctg} \frac{S}{a} - k_s S \right)' = \frac{1}{a \sqrt{1 + \left( \frac{S}{a} \right)^2}} - k_s ,$$

звідки при умові  $\Delta S'_{\text{н} \delta} = 0$  випливає, що

$$S_0 = \pm a \sqrt{\left( \frac{1}{k_s a} \right)^2 - 1} .$$

Підставляючи цей вираз в формулу (3.11), отримаємо максимальне значення похибки схеми:

$$\Delta S'_{\text{н} \delta \text{ max}} = \text{arctg} \sqrt{\left( \frac{1}{k_s a} \right)^2 - 1} - k_s a \sqrt{\left( \frac{1}{k_s a} \right)^2 - 1}$$

Для відомих значень  $k_s$  і  $a$  знайдемо, що  $S_0 = 0.58\text{ мм}$  і

$\Delta S'_{\text{н} \delta \text{ max}} = 7.0 \cdot 10^{-4} \text{ мм}^{-1}$ . Графічно зміну похибки схеми в залежності від  $S$

представлено на рисунку 3.4.

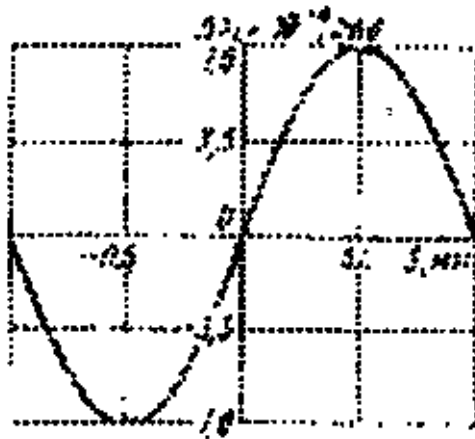


Рисунок 3.4 - Зміна похибки схеми тангенсного механізму в залежності від переміщення штовхача

Видно, що при від'ємних значеннях переміщень, похибка схеми даного механізму також змінює знак. Таким чином, механізм має найбільшу похибку схеми  $|\Delta S_{\delta \max}| = 7,0 \cdot 10^{-4} \delta \dot{a}^3 \dot{a} \dot{i}$  при значеннях  $S_0 = \pm 0,58 \dot{i}$ .

Порівнюючи результати розрахунків прикладів для синусного і тангенсного механізмів можемо зробити висновок, що при однакових вихідних вимогах до механізмів тангенсний механізм має більшу похибку схеми в порівнянні з синусним.

## Методичні рекомендації для виконання контрольної роботи №4

### Кінематичні похибки пристроїв приладів

Реальні елементи механізмів приладів завжди мають відхилення від номінальних значень параметрів, так як їх виготовлення завжди пов'язане з появою похибок різного виду. Серед всієї сукупності похибок, що мають місце в реальних механізмах, є такі, які безпосередньо входять в кінематичну ланку пристрою приладу або впливають на характеристики цієї ланки. Ці похибки називають кінематичними.

Кінематичні похибки є складовими функції перетворення дійсного механізму пристрою приладу, що аналітичне пов'язує рух (переміщення або поворот) веденої ланки з рухом ведучої ланки  $S_{\text{вих}}$  механізму керування (рисунок 4.1).

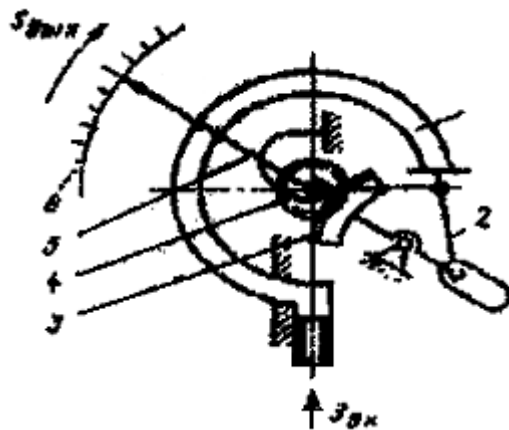


Рисунок 4.1 - Кінематична схема пружинного манометра

З фізики утворення кінематичні похибки можуть бути *первинні і діючі*.

*Первинними* похибками механізму називають відхилення розташування вланці елементів кінематичних пар від ідеальних положень і відхилення існуючих поверхонь елементів від заданих геометричних форм. Іншими словами, первинні похибки - відхилення розмірів і відхилення розміщень поверхонь елементів механізмів приладів.

*Діючими* похибками кінематичної пари називається похибка робочої поверхні елемента пари, що безпосередньо проявляється в роботі.

В первинні похибки не входить відхилення форми поверхонь деталей,

хвилястість і шорсткість поверхні. Діючі похибки разом з похибками розмірів і відхилення розміщень поверхонь включають в себе також відхилення форми і шорсткість поверхонь.

Таким чином, поняття діючої похибки дещо ширше в порівнянні з поняттям первинних похибок. Діючі похибки включають в себе також первинні.

Приклади визначення діючих похибок дані на рисунку 1. На рисунку 1, а зображено кулачок, що має відхилення форми профілю. Внаслідок цього відхилення: штовхач отримає додаткове переміщення  $\Delta F$  - похибку, яка і є діючою.

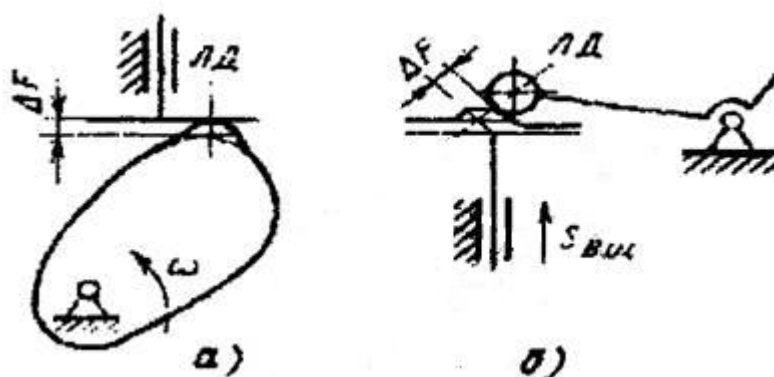


Рисунок 4.2 - Приклади визначення діючих похибок

Для знаходження числового значення і напрямку дії діючої похибки слід враховувати, що вона направлена по так званій лінії дії.

Лінія дії(ЛД) - уявна лінія, що проходить через точку взаємодії елементів кінематичної пари по напрямку робочого зусилля. Так для випадку, зображеного на рисунку 4.2 ,а, напрямок ЛД співпадає з напрямком переміщення штовхача. По ній направлена і похибка  $\Delta F$ . Але це не завжди буває так.

На рисунку 4.2, б представлений синусний механізм, штовхач якого має відхилення форми робочої поверхні. Оскільки внаслідок відхилення форми ЛД займе положення, що не співпадає з напрямком руху штовхача, діючою похибкою слід рахувати величину  $\Delta F$ , направлену по ЛД. В цьому випадку ЛД не співпадає з напрямком переміщення.

Розглянемо методику визначення кінематичних похибок на прикладі

синусного механізму (рисунок 4.3,а).

Функція перетворення синусного механізму:

$$\varphi = \arcsin \frac{S}{a}, \quad (4.1)$$

Похибка схеми:

$$\Delta S_{cx} = \varphi - \varphi_i = \arcsin \frac{S}{a} - k_s S, \quad (4.2)$$

На роботу синусного механізму впливають ще: похибка довжини важеля  $\Delta a$ , похибка початкового положення важеля  $\alpha$ , перекося площадка штовхача  $\beta$ , відхилення форми поверхні штовхача  $\Delta\varphi$ ; Перші три похибки відносяться до первинних, а відхилення форми-до діючих.

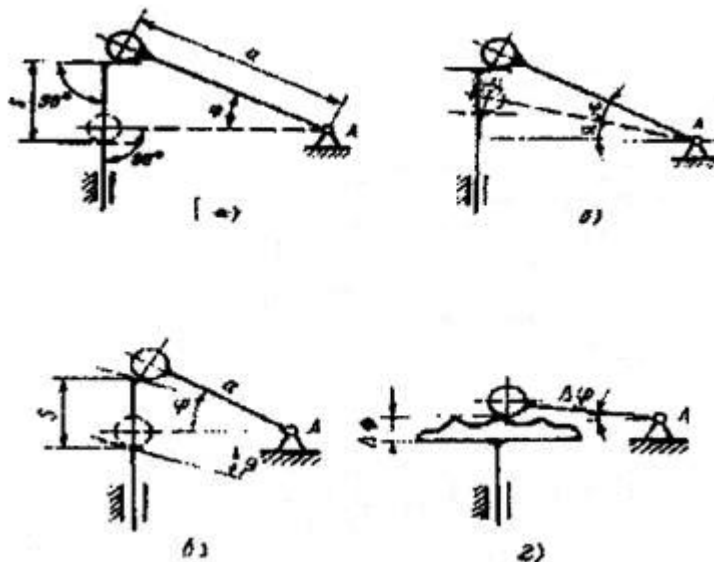


Рисунок 4.3 - Розрахункова схема синусного механізму

а) без похибок, б) з похибкою початкового положення важеля,

в) з похибкою переносу площадки, г) з похибкою форми поверхні штовхача.

Розглянемо вплив цих похибок.

1. Похибка довжини важеля  $\Delta a$ . Коефіцієнт впливу цієї похибки знайдемо диференціальним методом як часткову похідної функції перетворення по параметру  $a$ :

$$\xi_a = \frac{\partial \varphi}{\partial a} = - \frac{S}{a^2 \sqrt{1 - \left(\frac{S}{a}\right)^2}}, \quad (4.3)$$

2. Похибка початкового положення важеля  $\alpha$ . Вплив цієї похибки показано на рисунку 4.3, б.

$$\Delta S = a \sin \alpha, \quad (4.4)$$

$$S + \Delta S = a \sin(\varphi + \alpha), \quad (4.5)$$

Тоді:

$$S + \Delta S = S + a \sin \alpha = a \sin(\varphi + \alpha), \quad (4.6)$$

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{S}{a} + \sin \alpha\right) - \alpha. \quad (4.7)$$

Вираз (4.7) є новою функцією перетворення механізму, що враховує величину  $\alpha$ .

Коефіцієнт впливу цієї похибки

$$\xi_a = \frac{\partial \varphi}{\partial a} = \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 - \left(\frac{S}{a} + \sin \alpha\right)^2}} - 1, \quad (4.8)$$

При малих кутах  $\alpha \rightarrow 0$

$$\xi_{a \rightarrow 0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{S}{a}\right)^2}} - 1, \quad (4.9)$$

3. Перенос площадки штовхача (кут  $\beta$ ). Вплив перекосу площадки показано на рисунку 4.3, в.

$$\Delta = a - a \cos \varphi = a(1 - \cos \varphi), \quad (4.10)$$

$$\Delta S = a(1 - \cos \varphi) - tg \beta, \quad (4.11)$$

$$S = a \sin \varphi + a(1 - \cos \varphi)tg \beta, \quad (4.12)$$

$$\frac{S \cos \beta}{\alpha} = (\sin \varphi \cos \beta - \cos \varphi \sin \beta) + \sin \beta, \quad (4.13)$$

$$\frac{S \cos \beta}{\alpha} - \sin \beta = \sin(\varphi - \beta), \quad (4.14)$$

$$\varphi - \beta = \arcsin\left(\frac{S \cos \beta}{a} - \sin \beta\right), \quad (4.15)$$

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{S \cos \beta}{a} - \sin \beta\right) + \beta. \quad (4.16)$$

Коефіцієнт впливу:

$$\xi_\beta = 1 - \frac{\frac{S \sin \beta}{a} + \cos \beta}{\sqrt{1 - \left(\frac{S \cos \beta}{a} - \sin \beta\right)^2}}, \quad (4.17)$$

При малих кутах повороту  $\beta \rightarrow 0$ :

$$\xi_\beta = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{S}{a}\right)^2}}. \quad (4.18)$$

4. Відхилення форми поверхні штовхача  $\Delta_\varphi$  (рисунок 4.3, г) впливають на поворот важеля аналогічно впливу похибки переміщення штовхача на величину  $\Delta_\varphi$ . Тоді коефіцієнт впливу цієї похибки можемо знайти як часткову похідну вихідного рівняння по S:

$$\xi_\varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial S} = \frac{1}{a \sqrt{1 - \left(\frac{S}{a}\right)^2}}. \quad (4.19)$$

При цьому, природньо, приймається, що похибка  $\Delta_\varphi$  не залежить від кута повороту  $\varphi$ . Як правило  $S \ll a$ , тому, враховуючи наближений характер  $\xi_\varphi$ , в практичних розрахунках можна прийняти, що

$$\xi_\varphi = \frac{1}{a}. \quad (4.20)$$

Розраховані коефіцієнти впливу похибок синусного механізму дозволяють визначити загальну похибку положення (або переміщення) веденої ланки -важеля механізму. Використовуючи формулу визначення похибки положення:

$$\Delta S_{\dot{a}\ddot{o}} = S_{\dot{a}\ddot{o}} \xi_{\dot{a}\ddot{o}} + \Delta P_1 \xi_1 + \Delta P_2 \xi_2 + \dots + \Delta P_m \xi_m = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta P_i \xi_i \quad (4.21)$$



де  $n$ - загальна кількість похибок; ажгаїя - :

$\xi_i$  - коефіцієнт впливу цієї  $i$ -ї похибки;

$\Delta p_i$  - відхилення  $i$ -го параметру від номінального значення.

Можемо записати вираз знаходження похибки кута повороту  $\varphi$  (в радіанах):

$$\begin{aligned} \Delta_{\varphi} = & -\Delta a \frac{S}{a^2 \sqrt{1 - \left(\frac{S}{a}\right)^2}} + \alpha \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{S}{a}\right)^2}} - 1 \right) - \beta \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{S}{a}\right)^2}} - 1 \right) + \\ & + \Delta_{\varphi} \frac{1}{\alpha} - \beta \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{S}{a}\right)^2}} - 1 \right) + \Delta_{\varphi} \frac{1}{a}. \end{aligned} \quad (4.22)$$

## Приклад виконання задачі контрольної роботи

Визначити похибку повороту синусного механізму в діапазоні роботи штовхана  $0 \dots 0.14 \text{ мм}$ , якщо  $a = 5.8 \text{ мм}$ ,  $\alpha = 30'$ ,  $\beta = 1^\circ$ . Відхилення профілю робочої поверхні штовхана визначити по шорсткості ( $Ra \leq 0.8 \text{ мкм}$ ).

$$a = \frac{30}{60} \cdot \frac{3,14}{180} = 0,008727 \text{ рад}^3$$

$$\beta = 1 \cdot \frac{3,14}{180} = 0,017453 \text{ рад}$$

Синусний важіль з близькими конструктивними характеристиками використовується у важільному мікрометрі (рисунок 4.4).

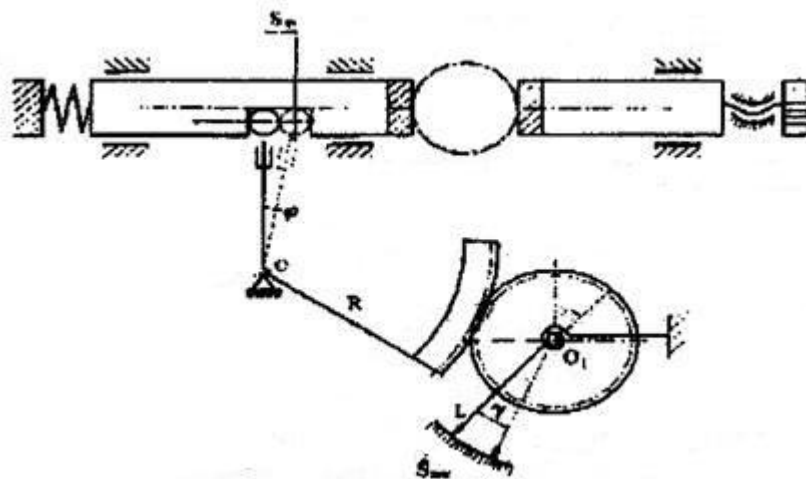


Рисунок 4.4 - Схема механізму важільного мікрометра

Прийmemo точність виготовлення довжини важеля  $a$  по 7 квалітету IT7(ГОСТ 25346-82). Допуск  $Ta = 0.012 \text{ мм}$ .

Відхилення форми не обумовлені, але відхилення кульки можна оцінити по шорсткості поверхні. Внаслідок шорсткості кулька отримує додаткові вертикальні переміщення при огинанні вершин високих нерівностей, як це показано на рисунку 4.5.



і дає шукану похибку

$$S_i = 0: \Delta\varphi_1 = \Delta\varphi \cdot \frac{1}{a} = 0,004 \cdot \frac{1}{5,6} = 7,142 \cdot 10^{-4} \text{ рад},$$

$$S_2 = 0,14 \text{ рад} :$$

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_2 &= -\Delta a \frac{S}{a^2 \sqrt{1 - \left(\frac{S}{a}\right)^2}} + \alpha \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{S}{a}\right)^2}} - 1 \right) - \beta \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{S}{a}\right)^2}} - 1 \right) + \frac{\Delta\varphi}{\alpha} = \\ &= -0,012 \frac{0,14}{5,6^2 \sqrt{1 - \left(\frac{0,14}{5,6}\right)^2}} + 87,26 \cdot 10^{-4} \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,14}{5,6}\right)^2}} - 1 \right) - 174,53 \cdot 10^{-4} \cdot \\ &\cdot \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,14}{5,6}\right)^2}} - 1 \right) + 7,142 \cdot 10^{-4} = 6,578 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

Похибка переміщення (кутового):

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1 = (6,578 - 7,142) \cdot 10^{-4} = -0,564 \cdot 10^{-4} \text{ рад} \approx -12''.$$

Видно, що похибка роботи синусного важеля нехтуючи мала. Найбільший вплив має похибка форми (профілю) площадки штовхача і довжини важеля.

### 5.1 Кривошипно-шатунний механізм

Кривошипно-шатунний механізм використовується для перетворення прямолінійного руху в обертовий і навпаки (рисунок 1).

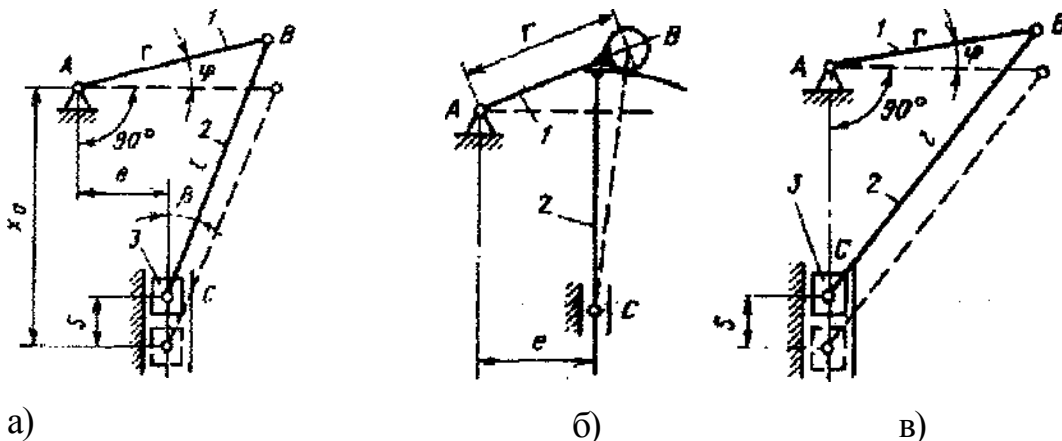


Рисунок 5.1-Схема кривошипно-шатунного механізму а - зміщеного, б - з вищою кінематичною парою, в - співвісного

Механізм складається з кривошипу 1 довжиною  $r$ , шатуна 2 довжиною  $l$  і повзуна 3. В механізмах з вищими кінематичними парами (рисунок 1,б) шатун суміщений з повзуном.

В багатьох приладах роль повзуна 3 виконує первинний перетворювач (мембранна коробка, біметалічна пластина і ін.).

Механізм може мати відхилення від співвісності  $e$  (рисунок 5.1, а, б) або бути співвісним (рисунок 5.1, в).

Визначимо функцію перетворення механізму для випадку, коли ведучим є повзун 3 (рисунок 5.1, а). В цьому випадку необхідно знати залежність кута повороту кривошипу  $\varphi$ , як веденої ланки, від переміщення повзуна  $S$ . Ця залежність має наступний вигляд:

$$\varphi = \pm \arctg \frac{e}{x_0 - S} \cdot \arcsin \frac{r^2 + e^2 + (x_0 - S)^2 - l^2}{2r\sqrt{(x_0 - S)^2 + e^2}} \quad (5.1)$$

де  $x_0$ -початкова координата положення повзуна 3.

$$x_0 = \sqrt{l^2 - (r \mp e)^2} \quad (5.2)$$

Другий (нижній) знак в формулах відноситься до схем механізмів, в яких вісь напрямку руху повзуна розміщена лівіше точки А.

На практиці часто має місце випадок, коли відхилення від співвісності рівне довжині кривошипу  $r$ , тобто  $e=r$ , так як при цьому функція перетворе близька до лінійної. Тоді формула (5.1) спрощується. Наприклад, для схеми представленої на рисунку 5.1,а:

$$\varphi = \arctg \frac{r}{l-s} \bullet \arcsin \frac{2r^2 - s(2l-s)}{2r\sqrt{(l-s)^2 + r^2}} \quad (5.3)$$

Якщо механізм співвісний,  $e=0$ , тоді з виразу (5.1) випливає:

$$\varphi = \arcsin \frac{s(2\sqrt{l^2 + r^2} - s)}{2r(\sqrt{l^2 - r^2} - s)} \quad (5.4)$$

Передаточне відношення для співвісного механізму:

$$U_{21} = \frac{2(l^2 - r^2) - 2S\sqrt{l^2 - r^2} + S^2}{\sqrt{2r[\sqrt{l^2 - r^2} - S]^2 - S^2(2\sqrt{l^2 - r^2} - S)^2}} \quad (5.5)$$

звідки випливає, що навіть для співвісного кривошипно-повзунного механізму передаточне відношення залежить як від переміщення  $S$ , так і від конструктивних параметрів  $r$ ,  $l$ .

У тому випадку, коли  $S \ll r$

$$u_{13} \sqrt{\left(\frac{l}{r}\right)^2} l = const \quad (5.6)$$

$$\frac{s}{r} \leq 0.5$$

Функції перетворення для даного механізму можуть бути спрощені.

Наприклад, для невеликих переміщень при замість

$$\frac{r}{l} \leq 0.25$$

формули (5.3) можна записати :

$$\varphi \approx \arcsin \left[ \frac{S}{r} \left( l - \frac{S}{8r^2l} \right) \right] \quad (5.7)$$

з похибкою, що не перевищує 1%.

Для співвісного механізму подібні умови приводять до заміни виразу (5.5) більш простою формулою слідуючого вигляду:

$$\varphi \approx \arcsin \frac{S(2l - S)}{2r(l - S)}$$

Якщо необхідно представити функцію перетворення механізму у вигляд відрізка степеневого ряду, то при вказаних вище обмеженнях замість формули (5.3) може бути використаний вираз:

$$\varphi \approx \frac{S}{r} + \frac{l}{6} \left( \frac{S}{r} \right)^3 - \frac{S^4}{8r^2l}$$

замість формули (5.4):

$$\varphi \approx \frac{S}{r} + \frac{S^2}{2rl} + \frac{S^3}{6r^3}$$

Функцію перетворення ідеального механізму прийmemo лінійною:

$$\varphi_i = k_s S \quad (5.10)$$

Похибка схеми:

$$\Delta S_{cx} = \varphi - \varphi_i = \arcsin \frac{S(2\sqrt{l^2 - r^2} - S)}{2r(\sqrt{l^2 - r^2} - S)} - k_s S \quad (5.11)$$

або для малих переміщень:

$$\Delta S_{cx} \approx \arcsin \frac{S(2l - S)}{2r(l - S)} - k_s S \quad (5.12)$$

При використанні степеневого ряду :

$$\Delta S_{cx} = \left( \frac{l}{r} - k_s \right) S + \frac{S^2}{2rl} + \frac{S^3}{6r^3} \quad (5.13)$$

При розрахунку похибки схеми необхідно ще врахувати, що радіус кривошипу  $r$  зв'язаний з граничними значеннями кута повороту  $\varphi_m$  і переміщення  $S_m$

$$r = \frac{S_m}{\sin \varphi_m} \quad (5.14)$$

Граничні значення кута, як правило, не перевищують  $20^\circ$ , так як вище

цього значення механізм має суттєву нелінійність і стає непридатним для використання в приладах. В свою чергу, нормальна робота механізму

$$\lambda = \frac{r}{l} \leq 0.25$$

забезпечується при щоб запобігти великих кутів тиску.

### **Приклад виконання задачі 5.1 контрольної роботи.**

*Визначити похибку схеми співвісного кривошипно-повзунного механізму при ведучому повзуні 3 (рисунок 5.1,б), якщо задано:*

- максимальне переміщення повзуна від середнього положення  $S_{cx} = \pm 1.5 \text{ в}$

- найбільший кут повороту кривошипу  $\varphi_m = \pm 20^\circ$

Розрахунок похибок схеми виконаємо по формулах (5.11) і (5.12). З виразу (5.10):

$$k_s = \frac{\varphi_m}{S_m} = \frac{20 \cdot 3.14}{180 \cdot 15} = 0.2327 \text{ в}^{-1}$$

По формулі (5.14):

$$\hat{e} = \frac{S_0}{\sin \varphi_m} = \frac{15}{\sin 20^\circ} = 4.38 \text{ в}$$

Вибираємо довжину шатуна так, щоб

$$l \geq 4r = 4 \cdot 4.38 = 17.52 \text{ в}$$

Приймаємо 1-20 мм.

Похибка схеми згідно формул (5.12), (5.13) є функцією переміщення  $S$ . При  $S = 0$  і  $S = \pm S_m$  похибка схеми  $\Delta S_{cx} = 0$ , а при інших значеннях відхиляється від нуля.

Необхідно знайти максимальне значення цього відхилення і місце цього максимуму. Використаємо для цього графічний метод : побудуємо графік залежності функції похибки схеми від переміщення  $S$  і знайдемо по ньому  $S_0$



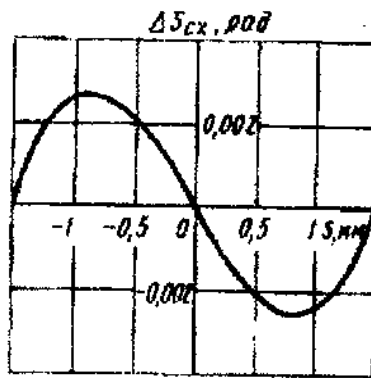


Рисунок 5.2 - Зміна похибки схеми кривошипно-повзунного механізму

$$\Delta S_{cx\_max}$$

Отримаємо:

$$\Delta S_{cx} = -0.003$$

при  $S = 0.8 \text{ мм}$  :

$$\delta \alpha \approx \alpha' \delta S \quad (0,17^\circ),$$

$$\Delta S_{cx} = 0.003$$

при  $S = -0.8 \text{ мм}$  :

$$\delta \alpha \approx \alpha' \delta S \quad (0,17^\circ).$$

Таким чином, похибка схеми розглядуваного механізму не перевищує  $0,17^\circ$ , що можна рахувати досить малим значенням для даного діапазону зміни кутів.

## 5.2 Кулісні механізми

Кулісні механізми використовують для перетворення обертового руху в обертовий. Є різні варіанти їх конструктивного виконання (рисунок 5.3).

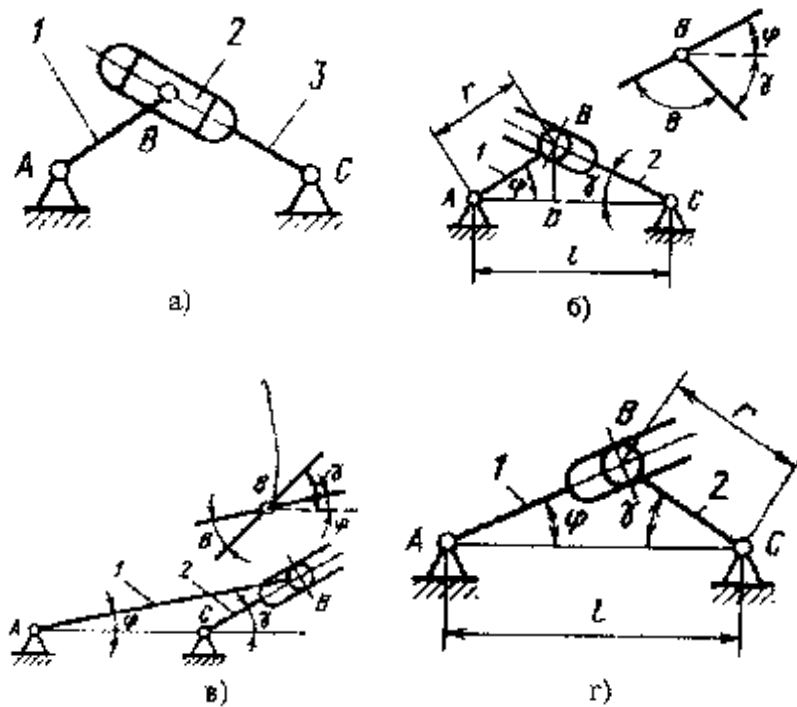


Рисунок 5.3 - Конструктивні різновиди кулісного механізму

Є варіанти, коли ведуча і ведена ланки мають різні напрямки обертання (рисунок 5.3,а,б). При великій довжині кривошипу  $AB > 1$  (рисунок 5.3,в) обидві ланки обертаються в одну сторону.

Зустрічаються також різновиди механізму, де неперервний обертовий рух кривошипу перетворюється в зворотньо-поступальний рух куліси (механізм з коливною кулісою), тоді  $\frac{1}{r} \geq 2$  (рисунок 5.3,б).

Кулісні механізми можуть бути трьохланковими (рисунок 5.3,а) кривошипом 1, кулісою 3 і ковзаючим повзуном 2 і двохланковими (рисунок б,в,г), що складаються тільки з кривошипу з сферою 1 і кулісою 2. Ведучий ланками кулісного механізму можуть бути як кривошип, так і куліса.

Похибка схеми кулісного механізму при ведучому кривошипі:

$$\Delta S_{cx} = \gamma - \gamma_i$$

(5.15)

Визначимо функцію перетворення. Розглянемо схему, зображену на рисунку 5.3, б.

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{BD}{DC}$$

З трикутника  $BDC$  слідує :

$$\text{Оскільки } BD = r \sin \varphi, DC = l - AD = l - r \cos \varphi$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{r \sin \varphi}{l - r \cos \varphi} \quad (5.16)$$

звідки

$$\gamma = \operatorname{arctg} \left[ \frac{\sin \varphi}{\frac{l}{r} - \cos \varphi} \right] \quad (5.17)$$

Отримана залежність  $\gamma$  є функцією перетворення механізму при ведучому кривошипі, так як зв'язує кут повороту  $\varphi$  у веденій ланки-куліси з кутом повороту  $\gamma$  ведучої ланки.

Для механізмів, в яких  $r > 1$  (рисунок 5.3, в) формула (5.17) дає від'ємні значення кута  $\gamma$ , тому його слід відраховувати в протилежному напрямку від горизонтальної осі, як не показано на рисунку 3, в.

Передаточне відношення:

$$u_{21} = \frac{d\gamma}{d\varphi} = \frac{\frac{l}{r} \cos \varphi - 1}{1 + \frac{l^2}{r^2} - 2 \frac{l}{r} \cos \varphi} \quad (5.18)$$

яке при малих кутах  $\varphi$  наближається до сталої величини

$$u_{21\varphi \rightarrow 0}(l - r) = \operatorname{const} \quad (5.19)$$

При необхідності залежність (5.17) може бути також представлена відрізком ступеневого ряду

$$\gamma = \frac{1}{\frac{l}{r}-1} \varphi - \frac{1}{3\left(\frac{l}{r}-1\right)^3} \left[ 1 + 3\frac{\frac{l}{r}-1}{2} + \frac{\left(\frac{l}{r}-1\right)^2}{2} \right] \varphi^3 \quad (5.20)$$

$\frac{l}{r}\varphi \leq 0.5$  який для описує точну функцію перетворення з похибкою менше 1%.

Ідеальну функцію перетворення будемо вважати лінійною. Тоді, якщо ведуча ланка-кривошип:

$$\gamma_{\mu} = k_{\varphi} \varphi \quad (5.21)$$

Похибка схеми.

$$\Delta S_{cx} = \arctg\left(\frac{\sin \varphi}{\frac{l}{r} - \cos \varphi}\right) - k_{\varphi} \varphi \quad (5.22)$$

Для малих кутів вирази визначення похибки схеми можуть бути ще більше спрощені.

$$\sin(x) \approx x, \cos(x) \approx 1, \arctg(x) \approx x - \frac{x^3}{3}, \arcsin(x) \approx x + 1$$

При умові, що

формулу (5.22) можемо представити у вигляді:

$$\Delta S_{cx} = \left( \frac{1}{\frac{l}{r}-1} - k_{\varphi} \right) \varphi - \frac{1}{3\left(\frac{l}{r}-1\right)^3} \varphi^3 \quad (5.23)$$

Аналіз формул (5.22) і (5.23) показує, що похибка схеми куліси

механізму залежить від конструктивного параметра-відношення  $\frac{l}{r}$ . Для його

оцінки можемо використати умову максимуму похибки схеми. Якщо ведуча ланка кривошип, то на основі формули (5.23) будемо мати:

$$\frac{d\Delta S_{cx}}{d\varphi} (\varphi \rightarrow 0) \rightarrow \frac{r}{l-r} - k_{\varphi} = 0 \quad (5.24)$$

звідки

$$\frac{l}{r} \approx 1 + \frac{l}{k_\varphi} \quad (5.25)$$

Таким чином, конструктивний параметр кулісного механізму-

відношення  $\frac{l}{r}$  - в першому наближенні може бути оцінений по коефіцієнтах

ідеальної функції перетворення.

### Приклад виконання задачі 5.2 контрольної роботи.

Визначити похибку схеми кулісного механізму (рисунок 3,6) при ведучому кривошипі 1, якщо задано:

- найбільший кут повороту кривошипа 1  $\varphi = \pm 10^\circ$ ,
- найбільший кут повороту куліси  $\gamma = \pm 30^\circ$ .

Розрахунок похибки схеми виконаємо по формулі (5.22). По заданих граничних значеннях кутів на основі формули (5.21) визначимо коефіцієнт пропорційності.

$$k_\varphi = \frac{\gamma}{\varphi} = \frac{30}{10} = 3$$

$$\frac{l}{r} \approx 1 + \frac{l}{k_\varphi r} = 1 + \frac{1}{3} \approx 1.3$$

Тоді по формулі (5.25):

Вираз для визначення похибки схеми буде мати наступний вигляд :

$$\Delta S_{cx} = \arctg\left(\frac{\sin \varphi}{1.3 - \sin \varphi}\right) - 3\varphi$$

Графік зміни похибки представлений на рисунку 5.4.

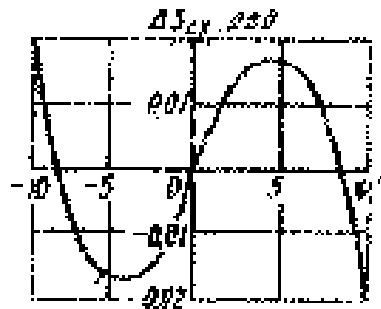


Рисунок 5.4- Зміна похибки схеми кулісного механізму в залежності від кута повороту ведучої панки кривошипу.

Видно, що максимальне її значення буде при  $\varphi = \pm 10^\circ$ .

$$|\Delta S_{cx \max}| \leq 0.02 \delta \alpha \delta^3 \alpha^3 (\approx 1.1^\circ)$$

Значення цієї похибки досить велике на краях інтервалу зміни інтервалу кута  $\varphi$

## Методичні рекомендації для виконання контрольної роботи №6

### Регулювання пристроїв приладів

Регулювання - процес, що дозволяє наблизити дійсну і ідеальну функції перетворення. У вимірювальних приладах розрізняють регулювання робочої ділянки приладу і регулювання чутливості. Регулювання робочої ділянки проводиться з метою вибору діапазона роботи приладу на лінійній ділянці кривої. Найбільш актуальний цей тип регулювання для приладів, що мають не симетричний характер функції перетворення, і містять, наприклад, кривошипно -повзунний механізм.

В синусних і тангенсних механізмах, що мають симетричну функцію перетворення, регулюють в основному початкове положення і чутливість, або передаточне відношення. Відомі три методи регулювання приладу:

1. регулювання до досягнення нульової похибки в нульовій точці шкали (регулювання по одній точці).
2. регулювання до досягнення нульових похибок в нульовій точці і на кінці шкали (по двох точках).
3. регулювання до досягнення нульових похибок в нульовій точці і деякій проміжній точці шкали, яка вибрана з у мови забезпечення рівності по модулю найбільшої і найменшої похибок (по двох точках з додатковою умовою).

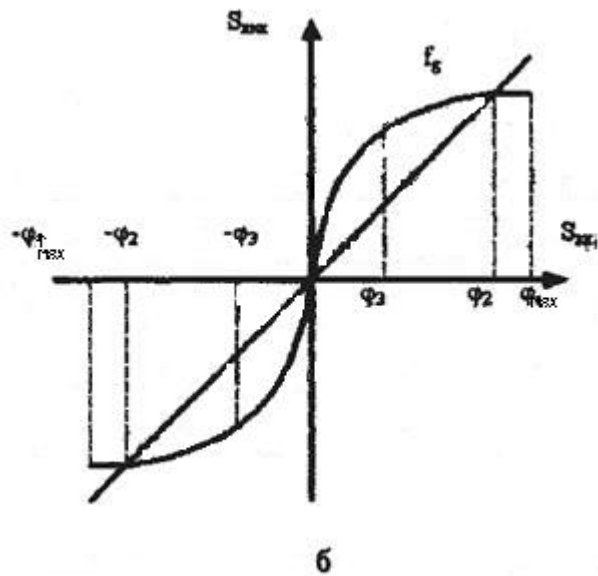
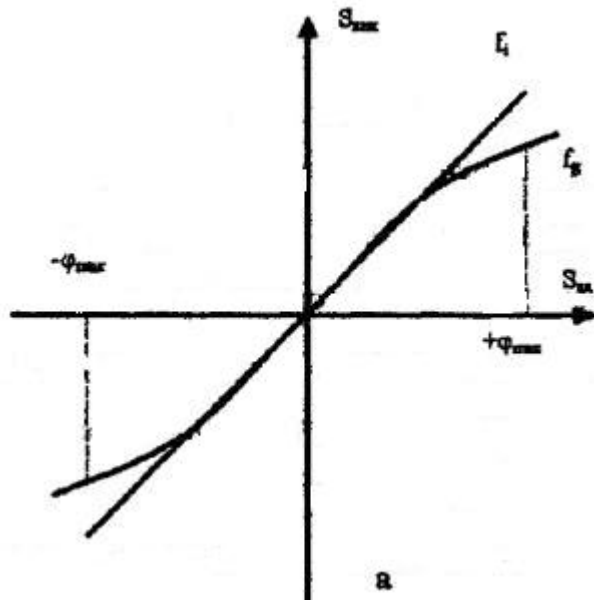
Якісно результати такого регулювання для синусного механізму показані на рисунку 6.1.

При регулюванні по одній точці.(рисунок 6.1, а) точно співпадають дійсна  $f_d$  і ідеальна  $f_i$  функції перетворення лише при нульовому значенні переміщення  $S_{вх}$ , а найбільша похибка буде при максимальному його значенні (для синусного механізму, показаного на рисунку 6.2, "вхідним" параметром буде кут  $\varphi$ ).

При регулюванні по двох точках (рисунок 6.1, б) криві співпадають в нулі і при максимальному значенні  $S_{вх}$  Найбільше відхилення кривих буде в деякій

проміжки точці  $\varphi_1$ .

При регулюванні по третьому методу (рисунок 6.1, в) нульова похибка буде при  $S_{\dot{\omega}} = 0$  і  $S_{\omega} = \varphi$ . При цьому найбільші похибки в точках  $\varphi_3$  і  $\varphi_{\max}$  повинні бути однаковими.





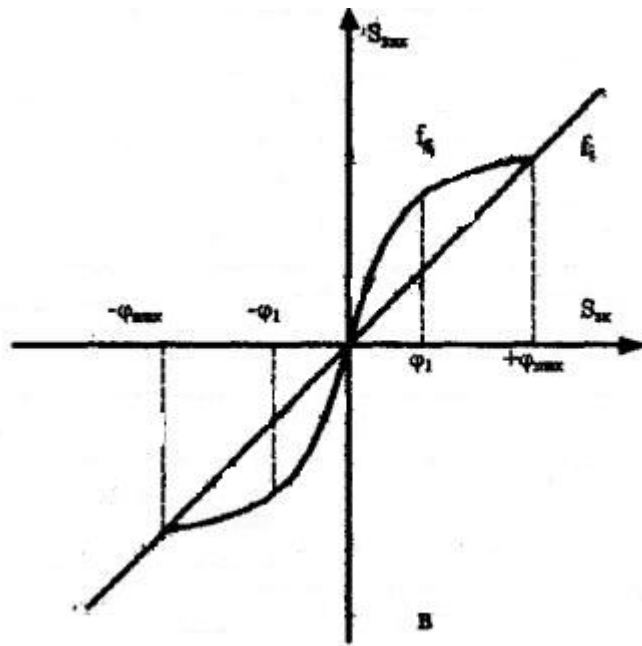


Рисунок 6.1 - Три метода регулювання синусного механізму

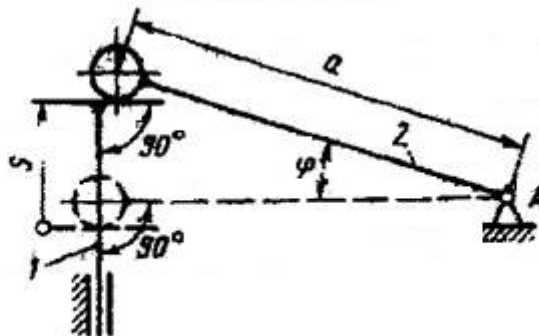


Рисунок 6.2 - Схема синусного механізму

Логічно можливо було би очікувати, що третій метод регулювання дає найменшу похибку роботи механізму. Перевіримо це припущення на прикладі.

## Приклад виконання задачі контрольної роботи

Визначити найбільші похибки, точки регулювання і значення довжини важеля а синусного механізму, якщо ведучою ланкою є важіль 2.

Розрахунок провести для трьох методів регулювання:

1) регулювання до досягнення нульової похибки в нульовій точці шкали (регулювання по одній точці);

2) регулювання до досягнення нульових похибок в нульовій точці і на кінцях шкали (регулювання по двох точках);

3) регулювання до досягнення нульових похибок в нульовій точці і деякій проміжній точці шкали, яка вибрана при умові забезпечення рівності по модулю найбільшої і найменшої похибок (регулювання по двох точках):

Побудувати графіки зміни величини переміщення  $S$  в залежності від зміни кута  $\varphi$  для трьох методів, в діапазоні зміни кута  $\varphi$  від  $\varphi_0=0$  до  $5$ , і максимальному переміщенні  $S_{\max} = 1\text{ м}$ .

Для синусного механізму (рисунок 2)

$$S_{\text{адог}} = k\varphi$$

$$S_{\text{адоі}} = k_{\varphi}\varphi$$

$$\Delta S_{\text{сх}} = S_{\text{адог}} - S_{\text{адоі}} = a \sin \varphi - k_{\varphi}\varphi$$

При розкладанні в ряд по наближеній формулі

$$\arcsin x = x + \frac{x^3}{6} \quad (6.4)$$

отримаємо:

$$\Delta S_{\text{сх}} = a \left( \varphi + \frac{\varphi^3}{6} \right) - k_{\varphi}\varphi = \varphi(a - k_{\varphi}) - a \frac{\varphi^3}{6}$$

де  $a$  - довжина синусного важеля;

I

$k_{\varphi}$  - коефіцієнт пропорційності (передаточне відношення ідеального механізму).

1) При цьому методі регулювання є зміст вимагати, щоб  $a = k_{\varphi}$  оскільки, якщо ведуча, ланка важіль, то для малих кутів повороту передаточне відношення

синусного механізму

$$U_{12} \approx 8 \quad (6.6)$$

Тоді похибка схеми:

$$\Delta S_{cx} = -k_{\varphi} \frac{\varphi^3}{6} \quad (6.7)$$

Максимальне значення

$$\Delta S_{cx} \text{ при } \varphi = \varphi_{\max}$$

$$\Delta S_{cx \max} = -k_{\varphi} \frac{\varphi_{\max}^3}{6} \quad (8)$$

Похибка схеми в даному випадку приймає від'ємне значення, оскільки дійсна функція перетворення  $f_0$  менше ідеальної  $f_1$ , як це показано на рисунку 6.1, а.

$$k_{\varphi} = \frac{S_{\dot{a}\ddot{o}\ddot{o}}}{\varphi}$$

Так як ідеальну функцію перетворення приймаємо лінійною, то можемо записати, що в точці  $\varphi_{\max}$

$$S_{\dot{a}\ddot{o}\ddot{o}} = S_{\max} \quad (6.10)$$

Звідси:

$$k_{\varphi} = \frac{S_{\max}}{\varphi_{\max}} = \frac{1}{5} \cdot \frac{3.14}{180} = 11.46 \quad (6.11)$$

$$\Delta S_{cx \max} = -11.46 \frac{\left(5 \frac{3.14}{180}\right)^3}{6} = 0.00125 \ddot{i}$$

2) При регулюванні по двох точках необхідно крім величини  $a$  знайти також кут  $\varphi_1$ , при якому похибка схеми приймає максимальне значення. Для їх знаходження складемо два рівняння. Перше запишемо, враховуючи, що в точці  $\varphi_{\max}$  похибка схеми  $\Delta S_{cx} = 0$  а друге - по умові максимуму похибки схеми в точці  $\varphi_1$ :

$$\Delta S_{cx(\varphi=\varphi_{\max})} = (a - k_{\varphi})\varphi_{\max} - a \frac{\varphi_{\max}^3}{6} = 0 \quad (6.12)$$

Звідси:

$$a = \frac{k_\varphi}{1 - \frac{\varphi_{\max}^2}{6}} \quad (6.13)$$

При умові максимуму:

$$\Delta S_{cx(\varphi=\varphi_1)} = \left( (a - k_\varphi)\varphi - a \frac{\varphi^3}{6} \right)_{\varphi=\varphi_1} = 0 \quad (6.14)$$

отримаємо, що

$$\varphi_1^2 = 2 \left( 1 - \frac{k_\varphi}{a} \right) \quad (6.15)$$

Підставляючи в (6.13) знайдене значення  $a$ , визначимо точку максимуму похибки схеми

$$\varphi_1 = \pm \frac{\varphi_{\max}}{\sqrt{3}} \quad (6.16)$$

Найбільше значення похибки схеми, в свою чергу, знайдемо, підставляючи значення  $a$  і  $\varphi_1$  в(6.5):

$$\Delta S_{cx \max} = \left( \frac{k_\varphi}{1 - \frac{\varphi_{\max}^2}{6}} - k_\varphi \right) \frac{\varphi_{\max}}{\sqrt{3}} - \left( \frac{k_\varphi}{1 - \frac{\varphi_{\max}^2}{6}} \right) \left( \frac{\varphi_{\max}^3}{6 \cdot 3 \cdot \sqrt{3}} \right) \approx \frac{k_\varphi \cdot \varphi_{\max}^2}{6 \cdot 2.6} \quad (6.17)$$

$$\Delta S_{cx \max} = \frac{11.46 \left( 5 \frac{3.14}{180} \right)^3}{6 \cdot 2.6} = 0.0005 \ddot{\gamma}$$

3) Визначити необхідно три параметри:  $a$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$ . Необхідно розв'язати три рівняння. Перше запишемо відносно нульової похибки в точці  $\varphi_2$ , друге - по умові максимуму в точці  $\varphi_3$ , третє - по рівності похибок в точках  $\varphi_3$  і  $\varphi_{\max}$ . В точці  $\varphi_2$  похибка схеми повинна бути рівна нулю:

$$\Delta S_{cx(\varphi=\varphi_2)} = (a - k_\varphi)\varphi_2 - a \frac{\varphi_2^3}{6} = 0$$

Звідки

$$\varphi_2^2 = 6 \left( 1 - \frac{k_\varphi}{a} \right) \quad (6.18)$$

Умова максимуму похибки схеми в точці  $\varphi_3$  дає можливість записати.

$$a = \frac{k_\varphi}{\left( 1 - \frac{\varphi_2^3}{2} \right)} \quad (6.19)$$

$$\varphi_3, \varphi_{\max} \quad (6.20)$$

В свою чергу рівність похибок по абсолютному значенню в точках приводиться до рівняння:

$$(a - k_\varphi)\varphi_3 - a \frac{\varphi_3^3}{6} = -(a - k_\varphi)\varphi_{\max} + a \frac{\varphi_{\max}^3}{6} \quad (6.21)$$

Підставляючи в (6.21) значення  $a$  (6.20) отримаємо рівняння:

$$2\varphi_3^2 + 3\varphi_3^3\varphi_{\max} - \varphi_{\max}^3 = 0 \quad (6.22)$$

один з коренів якого :

$$\varphi_3 = \frac{\varphi_{\max}}{2} \quad (6.23)$$

Тоді:

$$a = \frac{k_\varphi}{\left( 1 - \frac{\varphi_{\max}^2}{8} \right)} \quad (6.24)$$

Підставляючи отримане в (6.24) значення  $a$  в (6.19), отримаємо:

$$(6.25)$$

Найбільше значення похибки отримаємо по формулі (6.5), враховуючи знайдені значення  $a$ ,  $\varphi_3$ :

$$\Delta S_{\text{сх max}} = \left( \frac{k_\varphi}{1 - \frac{\varphi_{\max}^2}{8}} - k_\varphi \right) \frac{\varphi_{\max}}{2} - \frac{k_\varphi}{1 - \frac{\varphi_{\max}^2}{8}} \frac{\varphi_{\max}^3}{48} \approx k_\varphi \frac{\varphi_{\max}^3}{24} \quad (6.26)$$

Аналіз результатів регулювання синусного механізму по вказаним трьом методам показує, що вдосконалення процесу регулювання, його ускладнення призводить до зменшення похибки роботи механізму. Наприклад

найбільша похибка схеми при регулюванні по 3 методу буде » в 4 рази менше, ніж при регулюванні по методу 1 (таблиця 1) при одних і тих же заданих значеннях меж повороту кута  $\varphi$ , ідеальній чутливості  $k_\varphi$  механізму.

Таблиця 1 - Результати регулювання синусного механізму.

Метод	Найбільша похибка $\Delta S_{cx \max}$ аналітичне	Найбільша похибка $\Delta S_{cx \max}$ Числове значення, мм	Довжина важеля	Контрольні точка
1	$-k_\varphi \frac{\varphi_{\max}^3}{6}$	0,00125	$a = k_\varphi$	$\varphi = 0, \Delta S_{cx} = 0,$ $\varphi = \varphi_{\max}; \Delta S_{cx \max}$
2	$-k_\varphi \frac{\varphi_{\max}^3}{6} * 2.6$	0,0005	$a = \frac{k_\varphi}{(1 - \frac{\varphi_{\max}^2}{6})}$	$\varphi = 0, \varphi_{\max},$ $\Delta S_{cx} = 0,$ $\varphi_1 = \frac{\varphi_{\max}}{\sqrt{3}}; \Delta S_{cx \max}$
3	$-k_\varphi \frac{\varphi_{\max}^3}{24}$	0,0003	$a = \frac{k_\varphi}{(1 - \frac{\varphi_{\max}^2}{8})}$	$\varphi = 0, \varphi_{\max}, \Delta S_{cx}=0,$ $\varphi_2 = \sqrt{3} \frac{\varphi_{\max}}{2};$ $\Delta S_{cx} = 0,$ $\varphi_3 = \frac{\varphi_{\max}}{2};$ $\Delta S_{cx}(\varphi_2) = -\Delta S_{cx}(\varphi_{\max})$

Формули, наведені в таблиці 1, дозволяють вибрати цікавіші характеристики регулювання синусного механізму для любых вихідних параметрів.

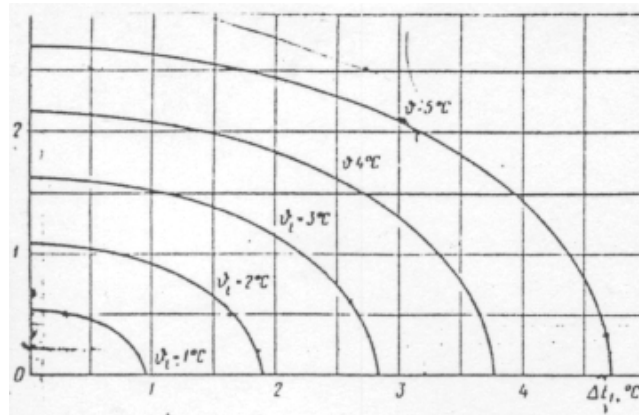


Рис. 1.12. Температурный режим в зависимости от допускаемых отклонений и колебаний температуры среды. Материал измеряемой детали — латунь и бронза без указания марки

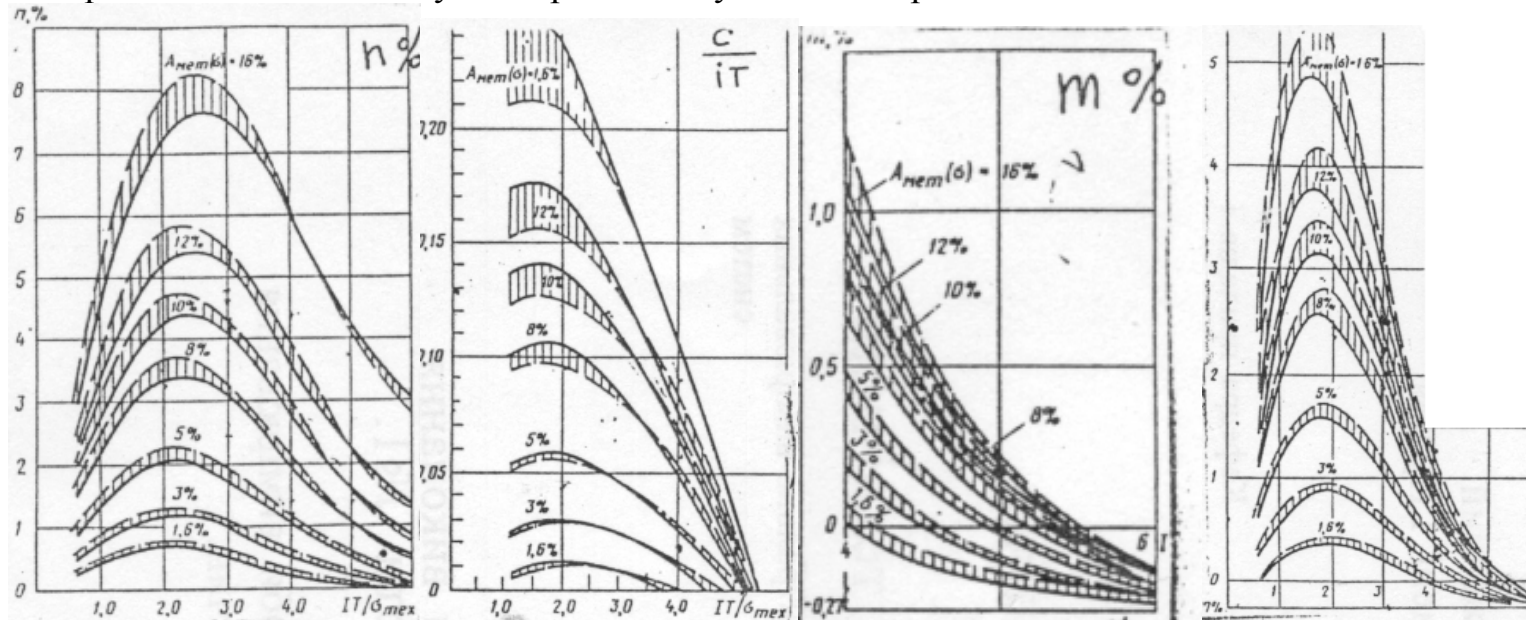


Рис. 1.13. Температурный режим в зависимости от допускаемых отклонений и колебаний температуры среды. Материал измеряемой детали — легкие сплавы на основе алюминия или магния без указания марки

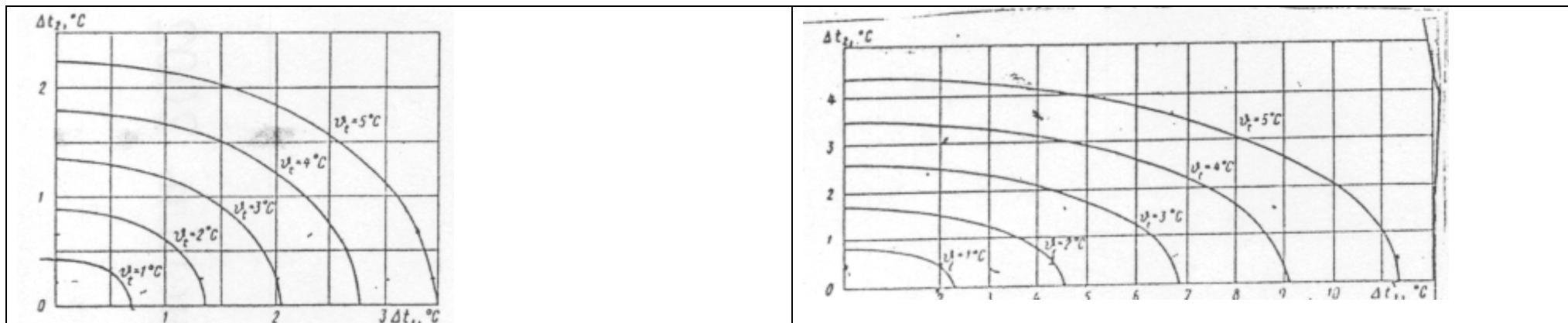


Рис 1.14 Температурный режим в зависимости от допускаемых отклонений и колебаний темпера ,4 среды. Материал измеряемой детали -черним металл

Таблица 1.16. Предельные погрешности измерения наружных линейных размеров, биений и глубин универсальными



измерительными средствами

Номер для табл. 1.20-1.22, 1.24	Средства измерения	Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм
	Наименование в случае применения	До 50
	Наименование в случае применения	До 500
1	Линейка измерительная металлическая с ценой деления 1 мм	500
2	Штангенцирку ли с отсчетом по нону 0,1 мм	150
3	Штангенцирку ли с отсчетом по нону 0,05 мм	100

Таблица 1.16.2. Предельные погрешности измерения штангенциркулями

Таблица 1.16.4 Предельные погрешности измерения скобами индикаторными

Таблица 1.16.3. Предельные погрешности измерения микрометрами гладкими

Таблица 1.16.1. Предельные погрешности измерения линейками измерительными металлическими

Номер для табл. 1.20-1.24	Средства измерения	Варианты использования	Температурный режим °С для диапазона размеров, мм			Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм								
			0-50	50-250	250-500	До 25	Св 25 до 75	Св 75 до 100	Св 100 до 150	Св 150 до 200	Св 200 до 250	Св 250 до 300	Св 300 до 400	Св 400 до 500
4	Линейка измерительная металлическая с ценой деления 1 мм	A*	5	5	5	5	10	15	15	20	25	30	40	50
		B**	5	2	1	5	5	5	10	10	10	10	10	10

\*Микрометры при работе находятся в руках

\*\* Микрометры при работе находятся в стойке или обеспечивается надежная изоляция от тепла рук оператора

\* Скобы при работе находятся в руках

\*\* Скобы при работе находятся в стойке или обеспечивается надежная изоляция от тепла рук оператора

Таблица 1.16.5 Предельные погрешности измерения микрометрами рычажными и скобами рычажными

	Наименование в случае применения	Вид контакта	Класс применяемых концевых мер	Температурный режим °С для диапазона размеров, мм			Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм												
				0-50	50-200	200-500	До 25	Св 25 до 50	Св 50 до 75	Св 75 до 100	Св 100 до 125	Св 125 до 150	Св 150 до 175	Св 175 до 200	Св 200 до 250	Св 200 до 250	Св 200 до 250	Св 200 до 250	
6	Микрометры рычажные с ценой деления 0,002 и 0,001 мм при установке на нуль по концевым мерам длины при использовании на всем пределе измерения	а*	Любой	3	5	5	5	4	7	9	12	14	16	18	21	26	30	40	50
	Тот же при установке на нуль по концевым мерам длины и использовании отсчета на $\pm 10$ делениях шкалы	б**	То же	3	5	2	1	4	4,5	5	5	6	7	7	7	7	7	10***	10***
	Тот же при установке на нуль по концевым мерам длины и использовании отсчета на $\pm (1\div 2)$ делениях шкалы и четырехкратном измерении	в**	Плоскостный и линейчатый	2	2	5	2	1	2	3	3	3	3,5	4	4,5	5	4	6	7
	Тот же при установке на нуль по концевым мерам длины и использовании отсчета на $\pm (1\div 2)$ делениях шкалы и четырехкратном измерении	г**	То же	1	1	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,7	1,8	2,3	2,6	3,3

\* При работе приборы находятся в руках

\*\* При работе приборы находятся в стойке или обеспечивается надежная изоляция от тепла рук оператора

\*\*\* При измерении микрометром рычажным с ценой деления 0,002 мм погрешность равна соответственно 8 и 9 мкм

Таблица 1.16.6 Предельные погрешности измерения индикаторами часового типа

Номер для табл. 1.19 и 1.23	Средства измерения	Варианты использования	Условия измерения						Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм										
			Установочные узлы	переменная измерительная	применяемых концов	Температурный режим °С для диапазона размеров, мм			1-3	3-10	10-18	18-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315	315-400	400-500
						1-30	30-120	120-500											
7	Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1	а б в г д	До 250 мм – штативы и стойки с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм. Св. 250 мм – штативы с диаметром колонки не менее 50 мм и наибольшим вылетом головки до 500 мм	10	5	5	5	5	15	15	16	16	18	20	22	25	35	40	45
				5	5	5	5	12	13	13	14	15	18	20	25	35	40	45	
				2	4	5	5	10	10	10	10	12	12	12	14	18	20	22	
				1	3	5	2	8	8	8	8	8	8	9	10	11	12		
				0,1	3	5	2	5	5	5	5	6	6	6	7	9	9	10	
	То же, класс точности 0	Ежз ик		10	4	5	5	2	12	12	12	12	13	14	14	15	18	20	22
				5	4	5	5	2	10	10	10	10	12	12	12	14	18	20	22
				2	3	5	5	2	8	8	9	9	10	10	10	10	12	14	16
				1	3	5	2	1	6	6	7	7	7	7	7	8	10	10	12
				0,1	3	5	2	1	4	4	4	4	5	5	6	7	8	9	10
	Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1 при измерении биения	Лмн опр		10	-	-	-	-	21										
				5	-	-	-	-	17										
2			-	-	-	-	13												
1			-	-	-	-	11												
0,1			-	-	-	-	8												
0,02÷ 0,03	-	-	-	-	6														
То же, класс точности 0	стуф х	10	-	-	-	-	16												
		5	-	-	-	-	14												
		2	-	-	-	-	11												
		1	-	-	-	-	10												
		0,1	-	-	-	-	6												

Номер для табл. 1.23	Средства измерения		Варианты использования	Условия измерения		Предельные погрешности измерения мкм
	Наименование в случае применения			Используемой предел измерения, мм		
8	Индикаторы рычажно – зубчатые с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения 0,08 мм при измерении биения		а б в	0,8 0,1 0,01-0,02		15 10 5

Таблица 1,16,8 Предельные погрешности измерения головками рычажно-зубчатыми

Номер для табл. 1,19-1.23	Средства измерения  Наименование в случае применения	Варианты использования	Условия измерения						Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм							
			Используй- ваемое перемеще- ние измерите- льного стержня,	Установоч- ные узлы	Применяемые концевые меры		Температурный режим °С для диапазона размеров, мм			До 10	Св 10 до 30	Св 30 до 50	Св 50 до 80	Св 80 до 120	Св 120 до 180	Св 180 до 250
					Клас	Разря- д	1-30	30-120	120-250							
9	Головки рычажно – зубчатые с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения ± 0,1 мм, с настройкой по концевым мерам длины на любое деление	а	± 0,10	Штативы*	3	-	5	2	1	3	3,5	3,5	4	4,5	5	6
	То же, с настройкой на нулевое деление	б	± 0,06	Стойки*	-	5	2	1	0,5	1,4	1,5	1,6	1,8	2,2	2,2	-
	Головки рычажно – зубчатые с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения ± 0,1 мм, при измерении биений	в	± 0,04	Штативы*	-	-	-	-	-	1,4	1,4	1,4	1,4	1,8	1,8	1,8
10	Головки рычажно – зубчатые с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения ± 0,05 мм, с настройкой по концевым мерам длины на любое деление	а	± 0,0050	Штативы*	-	5	2	1	0,5	2	2	2	2	2,5	2,5	2,8
	То же, с настройкой на нулевое деление	б	± 0,0030	Стойки*	-	4	2	0,5	0,2	0,6	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	-
	Головки рычажно – зубчатые с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения ± 0,05 мм, при измерении биений	в	± 0,020	Штативы*	-	-	-	-	-	0,8	0,8	0,8	0,8	1,1	1,1	1,1

\* Штативы с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200мм

\*\*Стойки с пределами измерения 0 – 160мм и 0 – 100 мм и диаметрами колонки не менее 50 и 30 мм, соответственно.

Таблица 1.16.9 Предельные погрешности измерения индикаторами многооборотными

Номер для табл. 1,19-1.23	Средства измерения  Наименование в случае применения	Варианты использования	Условия измерения						Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм									
			Используемое перемещение измерительного стержня,	Установочные узлы	Клас применяемые концевые мер	Температурный режим °С для диапазона 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	Св 80 до 120	Св 120 до 180	Св 180 до 250
						1-30	30-120	120-250										
11	Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения 2 мм	а б в	2	Штативы*	4	5	5	2	5	553	5	6	6	7	8	10	10	12
			1	Штативы*	3	5	2	2	5									
			0,4	Стойки**	2	5	1	0,5	3									
11	То же при измерении биений	г д е	2	Штативы*	-	-	-	-										6
			1	Штативы*	-	-	-	-										
			0,05	Стойки**	-	-	-	-										-
12	Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения 1 мм	а б	1	Штативы*	2	5	1	0,5	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	4
			0,2	Стойки**	2	5	1	0,5	2									
12	То же при измерении биений	в г	1	Штативы*	-	-	-	-										3
			0,05	Стойки**	-	-	-	-										

\* Штативы с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200мм

\*\*Стойки с пределами измерения 0 – 160мм и 0 – 100 мм и диаметрами колонки не менее 50 и 30 мм, соответственно.

Таблица 1.16.10 Предельные погрешности измерения головками измерительными пружинными (микрокаторами)



18	Головки измерительные пружинные *микрокаторы с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерения $\pm 0,006$ мм	а	$\pm 0,006$	-	2	0,5	0,1	0,1	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	
		б	0,006	-	2	0,5	0,1	0,1	0,3	0,3	0,35	0,35	0,35	0,4	0,5	0,5	
	То же при измерении биения	в	$\pm 0,006$	-	-	-	-	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
		г	0,006	-	-	-	-	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
19	Головки измерительные пружинные *микрокаторы с ценой деления 0,0001 мм и пределом измерения $\pm 0,004$ мм	а	$\pm 0,004$	-	2	0,5	0,1	0,1	0,3	0,3	0,35	0,35	0,35	0,4	0,5	0,5	
		б	0,004	-	2	0,5	0,1	0,1	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35	0,4	0,45	0,5	
	То же при измерении биения	в	$\pm 0,004$	-	-	-	-	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
		г	0,004	-	-	-	-	-	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

\* С – 11 – стойки с пределом измерений 0-160 мм, вылетом головки 75 мм и диаметром колонки 50 мм.

\*\* С – 1 – стойки с пределом измерений 0-160 мм, вылетом головки 75 мм и диаметром колонки 70 мм.

Таблица 1.16.11 Предельные погрешности измерения головками измерительными пружинными (микрокаторами)

Номер для табл. 1,19-1,23	Средства измерения Наименование в случае применения	Варианты использования	Условия измерения						Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм												
			Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Установочные узлы	Применяемые концевые меры		Температурный режим °С для диапазона размеров, мм			До 6	Св 6 до 10	Св 10 до 18	Св 18 до 30	Св 30 до 50	Св 50 до 80	Св 80 до 120	Св 120 до 180	Св 180 до 250	Св 250 до 315	Св 315 до 400	Св 400 до 500
					Класс	Разряд	1-30	30-120	120-250												
20	Головки измерительные пружинные *микрокаторы с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения $\pm 0,30$ мм	а	$\pm 0,1$	Штативы*	3	-	5	2	1	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0	3,5	4,5	4,5	5,5	7,5	8,5	10
		б	0,06	То же	2	-	2	1	0,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5	2	2	2	3	4	4	5
	То же при измерении биения	в	$\pm 0,1$	>>	-	-	-	-	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,5	3	3,5
		г	0,06	>>	-	-	-	-	-	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2
21	Головки измерительные пружинные *микрокаторы с ценой деления 0,005 мм и пределом измерения $\pm 0,15$ мм	а	$\pm 0,05$	>>	2	-	2	1	0,5	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	2	2	2	3	4	4,5	5,5
		б	0,03	>>	1	-	2	0,5	0,2	0,7	0,7	0,8	0,9	0,8	1	1,2	1,2	1,5	2	2,5	3
	То же (с нормальным усилием) при измерении биения	в	$\pm 0,05$	>>	-	-	-	-	-	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,8	2,4	2,6
		г	0,03	>>	-	-	-	-	-	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1,3	1,6	1,8
	То же (с уменьшенным измерительным усилием) при измерении биения	д	0,03	Стойки**	-	-	-	-	-	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	-	-	-	-
		е	$\pm 0,05$	Штативы*	-	-	-	-	-	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,5	1,8
ж	0,03	То же	-	-	-	-	-	-	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1,2	1,3	



22	Головки измерительные пружинные (микрокаторы) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения $\pm 0,060$ мм	а	$\pm 0,025$	>>	-	3	2	0,5	0,2	0,7	0,7	0,8	0,9	0,8	0,9	1,1	1,0	1,1	1,8	2,5	2,8
		б	0,015	Стойки**	-	3	2	0,5	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	0,7	-	-	-	-
	То же при измерении биения	в	$\pm 0,025$	Штативы*	-	-	-	-	-	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	1,6	2,2	2,5
		г	0,015	Штативы*	-	-	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	1	1,5	1,7
		д	0,015	Стойки**	-	-	-	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	-	-	-
23	Головки измерительные пружинные малогабаритные (микрокаторы) с уменьшенным измерительным усилием с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерения $\pm 0,025$ мм	а	$\pm 0,025$	Штативы*	-	3	2	0,5	0,2	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	2,0	2,2
		б	$\pm 0,025$	То же	-	-	-	-	-	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	1,2	1,5	1,7
	в	0,015	>>	-	-	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,7	0,9	1,0
24	Головки измерительные пружинные малогабаритные (микрокаторы) с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерения $\pm 0,01$ мм	а	$\pm 0,01$	>>	-	2	1	0,5	0,2	0,45	0,50	0,50	0,60	0,60	0,70	1,0	1,0	1,0			
		б	0,006	>>	-	2	1	0,5	0,2	0,30	0,35	0,40	0,5	0,5	0,6	0,8	0,7	0,7			
	То же при измерении биения	в	$\pm 0,01$	>>	-	-	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,60	0,60	0,60	-	-	-
		г	0,006	>>	-	-	-	-	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35	-	-	-
		д	0,006	Стойки**	-	-	-	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	-	-	-	-

\* До 250мм – штативы с диаметром колонки не менее 30мм и наибольшим вылетом головки до 200мм; св. 250 до 500мм – штативы с диаметром колонки не менее 50мм и наибольшим вылетом головки до 500мм..

\*\* Стойки с пределом измерений 0-160 мм и 0-100мм и диаметром колонки не менее 50 и 30мм, соответственно.

Таблица 1.16.12 Предельные погрешности измерения головками измерительными рычажно-пружинными (микрокаторами)

Номер для табл. 1,19-1,23	Средства измерения		Условия измерения							Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм						
	Наименование в случае применения	Варианты использования	Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Установочные узлы	Применяемые концевые меры		Температурный режим °С для диапазона размеров, мм			До 10	Св 10 до 18	Св 18 до 30	Св 30 до 50	Св 50 до 80	Св 80 до 120	Св 120 до 160
					Класс	Разряд	1-30	30-120	120-160							
25	Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения 0,25 мм	а	± 0,100	С 1*	1	-	2	0,5	0,2	0,9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,30	1,30
		б	0,100	То же	1	-	2	0,5	0,2	0,6	0,70	0,80	0,80	0,90	1,20	1,20
	То же при измерении биения		в	± 0,100	>>	-	-	-	-	-	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	г	0,100	>>	-	-	-	-	-	-	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	
26	Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерения 0,1 мм	а	± 0,050	>>	-	3	1	0,5	0,2	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	0,90	0,90
		б	0,050	>>	-	2	1	0,5	0,1	0,35	0,40	0,50	0,50	0,60	0,80	0,80
	То же при измерении биения		в	± 0,050	>>	-	-	-	-	-	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	г	0,050	>>	-	-	-	-	-	-	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	
27	Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерения 0,050 мм	а	± 0,020	>>	-	2	0,5	0,1	0,30	0,30	0,35	0,35	0,35	0,35	0,45	0,45
		б	0,020	>>	-	2	0,5	0,1	0,25	0,30	0,30	0,30	0,30	0,35	0,40	0,40
	То же при измерении биения		в	± 0,020	>>	-	-	-	-	-	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	г	0,020	>>	-	-	-	-	-	-	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
28	Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) с ценой деления 0,0001 мм и пределом измерения 0,024 мм	а	± 0,010	>>	-	2	0,5	0,1	0,1	0,25	0,30	0,30	0,35	0,35	0,40	0,40
		б	0,010	>>	-	2	0,5	0,1	0,1	0,25	0,25	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40
	То же при измерении биения		в	± 0,010	>>	-	-	-	-	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	г	0,010	>>	-	-	-	-	-	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	

\* С – 1 – стойки с пределом измерений 0-160 мм, вылетом головки 75 мм и диаметром колонки 70 мм.

Таблица 1.16.13 Предельные погрешности измерения головками измерительными пружинно-оптическими (оптикаторами)

Номер для табл. 1,19-1.23	Средства измерения	Варианты использования	Условия измерения		Предельные погрешности измерения мкм
	Наименование в случае применения		Используемая цена деления мкм	Используемый предел измерения, мкм	
29	Головки измерительные рычажно-пружинные с ценой деления 0,001 (0,002) мм и пределом измерения $\pm 0,040$ ( $\pm 0,080$ ) мм при измерении биения. Положение головки горизонтальное, шкалой вверх.	а	2	0,080	3
		б	2	0,040	2
		в	1	0,040	1
		г	1	0,020	0,5

Таблица 1.16.14 Предельные погрешности измерения головками измерительными пружинно-оптическими (оптикаторами)

Номер для табл. 1,19-1.23	Средства измерения Наименование в случае применения	Варианты использования	Условия измерения						Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм							
			Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Тип наконечника и вид контакта	Применяемые концевые меры		Температурный режим °С для диапазона размеров, мм			До 18	Св. 18 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
					Класс	Разряд	1-30	30-120	120-160							
30	Оптиметр вертикальный, оптиметр горизонтальный, машина измерительная с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения по шкале $\pm 0,1$ мм при относительном методе измерения	а	$\pm 0,1$	При любом виде контакта	0	-	1	0,5	0,2	1	1	1	1,5	1,5	2	2
		б	$\pm 0,6$	Сферический и ножевидный при любом виде контакта, плоский при плоскостном и линейчатом контакте	-	2	1	0,5	0,1	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Таблица 1.16.15 Предельные погрешности измерения на микроскопах инструментальных

Номер для табл. 1,19-1.23	Средства измерения	Температурный режим °С	Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм				
	Наименование в случае применения		До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 150
31	Микроскопы инструментальные (большая и малая модель)	5	4	5	6	9	11

Примечание. Пределы измерения микроскопов инструментальных: малой модели до 75x25 мм; большой модели до 150x50мм.

Таблица 1.16.16 Предельные погрешности измерения на микроскопах измерительных универсальных

Номер для табл. 1.19.1.23	Средства измерения Наименование	Варианты использования	Условия измерения			Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм													
			Форма детали	Метод измерения	Температурный режим °С для диапазона 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	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	
																			До 30
32	Микроскопы измерительные универсальные	а	Плоская	Проекционный	5	2	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,5	7,0	9,0	12	16	20	25
			Цилиндрическая (в центрах)	Проекционный	5	2	6,0	6,0	6,0	6,0	6,5	6,5	7,0	8,0	-	-	-	-	-
			Метод осевого сечения	5	2	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	4,0	5,0	-	-	-	-	-	-

Примечание. Пределы измерения универсальных измерительных микроскопов 200x100 и 500x200мм

Таблица 1.16.17 Предельные погрешности измерения на измерительных машинах

Номер для табл. 1.19.1.23	Средства измерения Наименование	Варианты использования	Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм									
			До 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
33	Машины измерительные при абсолютных измерениях	а	1	1,2	1,3	1,5	2	3	3,5	4	5	6
	То же, при относительных измерениях	б	См. п. 30									

Примечание. Температурный режим при измерении размеров до 100мм 1°С, св. 100мм 0,5°С

Таблица 1.16.18 Предельные погрешности измерения на длиномерах

Номер для табл. 1,19-1.23	Средства измерения Наименование	Варианты использования	Условия измерения			Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм									
			Клас применяемых концевых мер	Температурный режим °С для диапазона размеров, мм			До 3	Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 315	Св. 315 до 500
				До 30	30 - 120	Св. 120 до 500									
34	Длиномеры горизонтальный и вертикальные: При абсолютных измерениях При относительных измерениях	а	-	5	2	-	1,2	1,3	1,6	2	2,5	3	-	-	-
		б	1	2	0,5	0,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,5

Таблица 1.16.19 Предельные погрешности измерения на проекторах

Номер для табл. 1,19-1.23	Средства измерения	Варианты использования	Увеличение	Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм		
				До 6	Св. 6 до 18	Св. 18 до 100
35	Проекторы измерительные	а б в	10х 20х 50х, 100х, 200х	15 8 6	15 10 6	16 10 7

Примечания:

1. Пределы измерения проекторов 40х25мм, больших проекторов 100х50мм.

2. Температурные условия измерения:

часовые проекторы – допускаемое отклонение температуры от 20 до  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ;

большие проекторы – допускаемое отклонение температуры от 20 до  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ;

допускаемое отклонение температуры в процессе измерения  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 1.16.20 Предельные погрешности измерения приборами показывающим с индуктивными преобразователями

Номер для табл. 1,19-1.23	Средства измерения		Условия измерения						Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм																		
	Наименование		Варианты использования	Установочные узлы	Используемые концевые меры		Температурный режим °С для диапазона размеров, мм			Используемая цена деления, мкм	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	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500				
					Класс	Разряд	До 30	30-120	Св. 120 до 200																		
																								0			
36	Приборы показывающие с индуктивными преобразователями с переменной ценой деления 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 и 2,0 мкм и пределами измерения ±3; ±6; ±15; ±30 и ±60 мкм при работе с одним преобразователем	а б в г	Штативы*	2		2,0	1,0	0,5	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0					
										1,0	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,8	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0				
										0,5	0,8	0,8	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	2,0	2,5	3,5	4,0	4,0	5,0				
										0,2	0,6	0,6	0,6	0,9	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-				
										2,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	3,0	-	-	-				
										1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,7	2,0	-	-	-				
										0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,1	1,4	1,8	-	-	-				
	То же при измерении давления	д е ж з	Штативы*	1		2,0	0,5	0,5	2,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	3,0	-	-	-				
										1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,7	2,0	-	-	-				
										0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,1	1,4	1,8	-	-	-				
										0,2	0,4	0,4	0,45	0,6	0,75	0,75	0,75	1,0	1,25	1,75	-	-	-				
										2,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	3,0	-	-	-				
										1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,7	2,0	-	-	-				
										0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,1	1,4	1,8	-	-	-				
То же при измерении давления	и к л м	Стойки**		3	1,0	0,2	0,2	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	-	-	-	-						
									0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	-	-	-	-						
									0,2	0,35	0,35	0,35	0,45	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	-	-	-	-					
									0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
									2,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	3,0	-	-	-					
									1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,7	2,0	-	-	-					
									0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,1	1,4	1,8	-	-	-					
То же при измерении давления	н о п	Стойки**		2	0,5	0,1	0,1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	-	-	-						
									0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	-	-	-						
									0,1	0,25	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35	-	-	-	-	-	-	-					
									2,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	3,0	-	-	-					
									1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,7	2,0	-	-	-					
									0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,1	1,4	1,8	-	-	-					
									0,2	0,4	0,4	0,45	0,6	0,75	0,75	0,75	1,0	1,25	1,75	-	-	-					
То же при измерении давления	р с т у ф	Штативы*						2,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2						
									1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,3		
									0,5	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,9	0,9	0,9	
									0,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,3	0,3	0,3	0,3	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	
									0,1	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,25	0,25	0,25
									2,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
									1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
То же при измерении давления	х ц ч	Стойки**						0,2	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	-	-	-							
									0,1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	-	-	-						
									0,2	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22		
									0,1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11		
									2,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2		
									1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
									0,5	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	

\* См. сноску (\*) к табл. 1,16,11

\*\* См. сноску (\*\*) к табл. 1,16,11

Таблица 1.16.21 Предельные погрешности измерения штангенглубинометрами

Номер для табл. 1.22 и 1.24	Средство измерений	Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм	
	Наименование	Св. 1 до 50	Св. 50 до 400
37	Штангенглубомеры с отсчетом по нону 0,05мм	100	150

Таблица 1.16.22 Предельные погрешности измерения микрометрическими

Номер для табл. 1.22 и 1.24	Средство измерений	Варианты использования	Температурный режим °С	Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм					
	Наименование в случае применения			До 25	Св. 25 до 50	Св. 50 до 75	Св. 75 до 100	Св. 100 до 125	Св. 125 до 150
38	Глубиномеры микрометрические при абсолютном методе измерения	а	5	6	20	20	20	20	25
	Глубиномеры микрометрические при относительном методе измерения с настройкой по установочным мерам	б	5	-	6	7	8	10	11

Таблица 1.16.23 Предельные погрешности измерения микрометрическими индикаторными

Номер для табл. 1.22 и 1.24	Средство измерений	Варианты использования	Условия измерения				Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм					
	Наименование в случае применения		Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Класс применяемых концевых мер	Температурный режим °С для диапазона размеров, мм		До 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 150
					До 30	Св. 30						
39	Глубомеры индикаторные при относительном методе измерения с настройкой по установочной мере	а	10	-	5	5	15	15	15	15	20	20
	То же, с настройкой по блокам концевых мер длины	б в	0,1 0,02-0,03	4 3	5 5	5 2	6 4	7 5	7 5	9 5	10 6	15 9
40	Глубомеры индикаторные при замене отсчетного устройства измерительной головкой с ценой деления 0,001 мм и относительном методе измерения с настройкой по блокам концевых мер длины	а	0,002-0,003	2	2	1	1,5	1,5	1,5	2	2	2
	То же, при четырех –кратном измерении с переборкой блока при каждом измерении	б	0,002-0,003	2	2	1	0,5	0,5	1,0	1,5	-	-

Таблица 1.17.1 Предельные погрешности измерения внутренних размеров накладными приборами

Номер для табл. 1.22 и 1.24	Средство измерений		Условия измерения					Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм					
	Наименование в случае применения	Варианты использования	Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Средство установки	Шероховатость поверхности отверстий Ra, мкм	Температурный режим °С для диапазона размеров, мм		Св. 3 до 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 500	
						3-120	120-500						
1	Линейки измерительные металлические	-	-	-	-	-	-	500					
2	Штангенциркули с отсчётом по нониусу 0,1мм <sup>1</sup>	-	-	-	5	7		200	200	250	300	300	
3	Штангенциркули с отсчётом по нониусу 0,05мм <sup>1</sup>	-	-	-	5	7		150	150	200	200	250	
4	Нутрометры микрометрические с величиной отсчета 0,01мм	а	13	Микропара устанавливается по установочной мере	5	5	3	-	-	15	20	30	
		б		Аттестируется размер собраного нутрометра				-	-	10	15	20	
5	Нутрометры индикаторные с ценой деления отсчетного устройства 0,01мм <sup>1</sup>	а	Весь ход	Концевые меры длины 3 го класса с боковиками или микрометры <sup>2</sup>	5	5	3	15	20	25	25	30	
		б						0,1	10	10	15	15	20
		в						0,03	5	5	10	10 <sup>3</sup>	-
6	Нутрометры индикаторные при замене отсчетного устройства измерительной головкой с ценой деления 0,001 или 0,002 мм <sup>1,4</sup>	а	0,1	Концевые меры длины 1-го класса или установочные кольца (до 160 мм)	1,25	3	2	4,5	5,5	6,5	7,5 <sup>3</sup>	11 <sup>4</sup>	
		б	0,03					0,32	2,8	3,5	4,5	6,5	9 <sup>4</sup>
7	Нутрометр повышенной точности с ценой деления отсчетного устройства 0,001 или 0,002 мм	а	0,1	Концевые меры длины 1-го класса с боковиками или установочные кольца	1,25	3	-	3,5	5	-	-	-	
		б	0,01					0,32	2	3,5	-	-	-
		в	0,01					Установочные кольца	0,32	1,5	2,5	-	-



Таблица 1.17.2 Предельные погрешности измерения внутренних размеров на оптиметрах, длиномерах и измерительных машинах

Номер для табл. 1.22 и 1.24	Средство измерений	Варианты использования	Условия измерения				Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм				
			Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Средство установки	Шероховатость поверхности отверстий Ra, мкм	Температурный режим °С	Св. 13 до 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 500
8	Оптиметры и длиномеры горизонтальные, измерительные машины с ценой деления отсчетного устройства 0,001	a	± 0,05	Концевые меры 1 –го класса с боковиками Установочные кольца <sup>5</sup>	1,25	2	1,5	1,5	2,5	5	9
		б					1	1	1,2	2,5	-

Таблица 1.17.3 Предельные погрешности измерения внутренних размеров пневматическими приборами

Номер для табл. 1.21	Средство измерений	Варианты использования	Условия измерения				Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм			
			Диаметральный зазор между пробкой и отверстием, мм	Шероховатость поверхности отверстий Ra, мкм	Температурный режим °С для диапазона размеров, мм		Св. 3 до 6	Св. 6 до 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120
	До 18				Св. 18 до 120					
9	Пневматические пробки с отсчетным прибором с ценой деления 0,5 мкм с настройкой по установочным кольцам <sup>5</sup>	a	0,04-0,06	1,25	2	2	4	4	4,5	5
		б	0,03-0,04				3	3	3,5	4
		в	0,02-0,03	0,32	2,5	2,5	2,5	3		
		г	0,02-0,03		2	2	2,5	3		
		д	0,01-0,02		1,5	1,5	2	2,5		
10	То же при цене деления прибора 0,2 мкм.		0,01-0,02	0,32	0,5	0,2	0,8	0,5	0,5	0,8

Таблица 1.17.4 Предельные погрешности измерения внутренних размеров на станковых приборах

Номер для табл. 1.21	Средство измерений	Температурный режим °С для диапазона измеряемых размеров, мм		Предельные погрешности измерения мкм для диапазона размеров, мм			
		1-50	50-250	До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 250
11	Микроскопы инструментальные (большая и малая модель) <sup>6,7</sup>	5	5	7	10	10	10
12	Микроскопы универсальные измерительные при использовании штриховой колонки <sup>6,7</sup>	3	2	5	6	7	7
13	Приборы с электронным индикатором контакта <sup>8</sup> при настройке по концевым мерам 0-го класса	2	1	0,3	0,3	0,5	0,5
14	Приборы с электронным индикатором контакта для измерения диаметра малых отверстий <sup>8</sup> при настройке по концевым мерам 0-го класса	2	-	0,5	-	-	-

- <sup>1</sup> Штангенциркули имеют нижний предел измерения 10мм, нутрометры индикаторные 6 мм.
- <sup>2</sup> При использовании для установки на размер концевых мер вместо микрометров предельная погрешность уменьшается на 2-3 мкм.
- <sup>3</sup> При использовании установочных колец диаметром 120 – 250 мм предельная погрешность уменьшается на 2-3мкм.
- <sup>4</sup> Для диапазона 250 –500 мм предельная погрешность указана только при использовании концевых мер длины.
- <sup>5</sup> Предельная погрешность измерения указанная для позиций 8, 9, 10 может быть обеспечена только при применении установочных колец, аттестованных с погрешностью, не более указанной в таблице:

Диаметр установочных колец	Допускаемая погрешность аттестации, мкм, для позиций	
	8 и 9	10
От 3 до 6	0,5	0,3
Св. 6 до 18	0,4	0,2
Св. 18 до 50	0,5	0,2
>> 60 >> 120	0,8	0,3
>> 120 >> 250	1,5	-

- <sup>6</sup> Погрешности микроскопов указаны при измерении сквозных отверстий и глухих отверстий с острой торцевой кромкой
- <sup>7</sup> Пределы измерения инструментальных микроскопов большой модели до 150 мм, малой модели до 75 мм, универсальных микроскопов до 200мм
- <sup>8</sup> Пределы измерения прибора с электронным индикатором контакта от 4 до 200 мм; то же для малых отверстий – от 1 до 4 мкм.

Таблица 1.18 Предельные погрешности блоков концевых мер

Диапазон размеров, мм	Состав блока	Предельные погрешности блоков концевых мер, мкм											
		Разряд концевых мер					Клас концевых мер						
		1	2	3	4	5	00	0	1	2	3	4	5
1-10	Две меры до 10мм	0,20	0,20	0,25	0,40	0,90	0,20	0,25	0,30	0,50	1,20	2,90	5,5
10-30	Одна мера 10-25 мм, две меры до 10мм	0,30	0,30	0,35	0,50	1,10	0,30	0,35	0,50	0,80	1,70	3,80	7,5
30-50	Одна мера 25-50 мм, две меры до 10мм	0,30	0,30	0,35	0,50	1,20	0,30	0,35	0,50	0,90	2,00	4,20	8,5
50-80	Одна мера 50-75 мм, две меры до 10мм	0,30	0,35	0,40	0,60	1,30	0,35	0,45	0,60	1,10	2,30	5,00	10,0
80-120	Одна мера 100 мм, одна мера 10мм, две меры до 10мм	0,40	0,45	0,50	0,70	1,50	0,45	0,55	0,80	1,30	2,90	6,00	12,0
120-180	Одна мера 100 мм, одна мера 50-75 мм, две меры до 10мм	0,45	0,45	0,55	0,80	1,70	0,50	0,60	0,90	1,60	3,50	7,00	14,0
180-250	Одна мера 200 мм, одна мера 25-50 мм, две меры до 10мм	0,45	0,50	0,55	0,90	2,00	0,50	0,70	1,20	2,20	4,50	9,00	17,0
250-315	Одна мера 300 мм, одна мера 10мм, две меры до 10мм	0,50	0,55	0,65	1,00	2,30	0,65	0,90	1,50	3,10	6,20	12,0	25,0
315-400	Одна мера 300 мм, одна мера 75-100 мм, две меры до 10мм	0,55	0,60	0,70	1,10	2,50	0,70	1,00	1,60	3,30	6,50	13,0	28,0
400-500	Одна мера 400 мм, одна мера 75-100мм, две меры до 10мм	0,65	0,70	0,85	1,30	2,90	0,80	1,20	2,00	3,80	7,5	15,0	32,0

Таблица 1.19 Выбор станковых средств измерения наружных размеров.

Номинальные размеры, мм	Квалитет											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Допускаемая погрешность мкм/допуск, мкм: средства измерений – по табл. 1.16											
До 3	0,4/1,2	0,8/2	1/3	1,4/4	1,8/6	3/10	3/14	6/25	8/40	12/60	20/100	30/140
	17б, 18а, 19а, 22б, 24б, 26б, 27а, 28а, 30б, 36з	10б, 16ф, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25б, 26а, 30б, 36а	10б, 15б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в	9б, 10б, 15б, 16а, 21а, 22а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10б, 15а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 11в, 12а, 15а, 20а, 32а, 36а	9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32а, б, в, 36а	9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32а, б, в, 36а	7д, и, 9а, 11а, 12а, 13а, 14а, 31 35в	7г, з, 11а, 13а, 32б, 35б	7б, е, 13а, 35б	7а, е, 35а
Св 3 >> 6	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	1,6/5	2/8	3/12	4/18	8/30	10/48	16/75	30/120	40/180
	10б, 16б, 17а, 18а, 19а, 22б, 23а, 24а, 25б, 26а, 27а, 30б, 36г, к	10б, 15б, 16б, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в	9б, 10б, 15б, 16а, 21а, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10б, 15а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 12б, 15а, 20б, 21а, 30б, 33а, 34а, 36б	9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32а, в, 36а	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 13б, 14б, 20а, 31, 32 а, в, 36а	7г, з, 11а, 14а, 31, 32б, 35б	7в, ж, 11а, 13а, 14а, 32б, 35б	7а, е, 35а	7а, 35а	-
>>6 >>10	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36	12/58	18/90	30/150	50/220
	10б, 16б, 17а, 18а, 19а, 22б, 24а, 25б, 26а, 27а, 30б, 36г, к	10б, 15б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в	9б, 10б, 15б, 16а, 21а, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 30а, 33а, 34а, 36б	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 13б, 14б, 20а, 31, 32а, в, 36а	7д, 9а, 11а, 12а, 13б, 14а, 20а, 31, 32а, в, 36а	7г, з, 11а, 13а, 14а, 32б	7б, е, 13а, 35б	7а, 35а	7а, 35а	-
>>10 >>18	0,8/2	1,2/3	1,6/5	2,8/8	3/11	5/18	7/27	10/43	14/70	30/110	40/180	60/270
	10б, 16б, 17а, 18а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25б, 26а, 27а, 30б, 36ж	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в, е	9б, 10б, 15а, 16а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 34а, 36б	9б, 10а, 12а, 14б, 15а, 20а, 21а, 32в, 34а, 36а	7д, 9а, 11б, 12а, 13б, 14а, 20а, 31, 32а, в, 36а	7д, и, 9а, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в	7в, ж, 11а, 13а, 14а, 32б, 35б	7б, е, 13а, 35б	7а, 35а	-	-
>>18 >>30	1/2,5	1,4/4	2/6	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52	18/84	30/130	50/210	70/330
	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а, 36г, ж	10б, 16а, 21б, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 36в, е	9б, 10а, 15а, 16а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 12а, 14б, 15а, 20а, 21а, 32в, 34а, 36а,	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 20а, 32а, в, 34а, 36а	7д, 9а, 11а, 11в, 12а, 14б, 20а, 31, 32а, в	7г, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в,	7в, е, 11а, 13а, 32б, 35б	7а, 35а	-	-	-
>>30 >>50	1/2,5	1,4/4	2,4/7	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62	20/100	40/160	50/250	80/390

	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а, 36ж	10б, 16а, 21б, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 36в, е	9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 33а, 34а, 36б, д	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32в, 34а, 36а	7д, 9а, 11б, 12а, 13б, 14б, 15а, 20а, 31, 32а, в, 36а	7д, и, 9а, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в	7в, 11а, 13а, 14а, 31, 32б, 35б	7а, 35а	7а, 35а	-	-	-
--	---	--	--	---	---	---	---------------------------------	---------	---------	---	---	---

Продолжение табл. 1.19

Номинальные размеры, мм	Квалитет											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Допускаемая погрешность мкм/допуск, мкм: средства измерений – по табл. 1.16											
Св 50 до 80	1,2/3	1,8/5	2,8/8	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74	30/120	40/190	60/300	100/460
	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а, 36ж, и	9б, 10б, 15б, 16а, 21б, 22а, 25а, 30а, 33а, 34б, 36б	9б, 10а, 12б, 15а, 20б, 21а, 33а, 34а, 36б	9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 21а, 32а, 34а, 36в	7к, 9а, 11б, 12а, 13б, 14б, 20а, 32в, 34а, 36а	7г, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в	7в, ж, 11а, 13а, 14а, 31, 32б, 35б	7а, 35а	7а, 35а	-	-	-
Св. 80 до 120	1,6/4	2/6	3/10	5/15	6/22	10/35	12/54	20/87	30/140	50/220	70/350	120/540
	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а, 34б, 36е	10б, 15б, 16а, 20б, 21а, 22а, 23а, 24а, 25а, 30а, 33а, 34б, 36б	9б, 10а, 12б, 15а, 20б, 21а, 33а, 34а*, б, 36а	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32в*, 34а*, 36а	7д, 9в, 11б, 12а, 13б, 14б, 20а, 32в*, 34а*, 36а	7г, з, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б*, в*, 35б*	7в, ж, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б*, 35б*	7а, 11а, 13а, 35а*	7а, 35а*	-	-	-
Св. 120 до 180	2/5	2,8/8	4/12	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100	40/160	50/250	80/400	140/630
	10б*, 15б*, 16а*, 20б, 21а, 22а, 23а, 24а, 25а*, 30а, 34б, 36б	9б*, 10а, 15а*, 20б, 21а, 34б, 36б, д	9б*, 10а, 11в*, 12а, 15а*, 20б, 21а, 33а, 36а	7д, 9а, 11в*, 12а, 13б*, 14б*, 20а, 33а, 36а	7д, и, 9а, 11б, 13б*, 14б*, 20а	7в, ж, 11а, 13а*, 14а*, 31*, 32а	7в. е, 11а, 13а*, 14а*, 31*, 32а	7а	7а	-	-	-
Св. 180 до 250	2,8/7	4/10	5/14	7/20	8/29	12/46	18/72	30/115	40/185	60/290	100/460	160/720
	10а, 22а, 23а, 24а, 30а, 34б, 36в, е	10а, 12а, 20б, 21а, 33а, 34б, 36б	10а, 12а, 20б, 21а, 33а, 36а	7д, 9а, 12а, 20а, 33а, 36а	7д, и, 9а, 11б, 12а, 20а	7г, з, 9а, 11а, 32а	7в, е, 11а, 32а	7а	7а	-	-	-
Св. 250 до 315	3/8	4/12	5/16	8/23	10/32	14/52	20/81	30/130	50/210	70/320	120/520	180/810
	21б, 22а, 23а, 30а, 34б	20б, 21а, 33а, 34б, 36а	20б, 21а, 33а, 36а	7к, 20а, 21а, 33а, 36а	7г, 20а	7г, з, 20а	7в, е, 32а	7в, е, 32а	7а	-	-	-
Св. 315 до 400	3/9	5/13	6/18	9/25	10/36	16/57	24/89	40/140	50/230	80/360	120/570	180/890
	21а, 22а, 23а, 30а, 34б	20б, 21а, 33а, 34б, 36а	20б, 21а, 33а, 36а	7д, 20а, 21а, 33а	7д, и, 20а, 33а	7г, з, 20а	7в, е, 32а	7а, 32а	7а	-	-	-
Св. 400 до 500	4/10	5/15	6/20	9/27	12/40	18/63	26/97	40/155	50/250	80/400	140/630	200/970
	21б, 22а, 23а, 30а, 34б	20б, 21б, 34б, 36а	20б, 21а, 33а, 36а	20б, 21а, 33а, 36а	7г, 20а, 33а	7г, з, 20а	7в, е, 32а	7в, е, 32а	7а, 32а	-	-	-

\* Измерительное средство не полностью обеспечивает диапазон номинальных размеров (см. табл. 1.16)

Таблица 1,20 Выбор накладных средств измерений наружных размеров

Номинальные размеры, мм	Квалитет															
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Допускаемая погрешность мкм/допуск, мкм: средства измерений – по табл. 1.16																
До 3	0,4/1,2	0,8/2	1/3	1,4/4	1,8/6	3/10	3/14	6/25	8/40	12/60	20/100	30/140	50/250	80/400	120/600	200/1000
	-	6г	6г	6г	6г	6в	6в	4а, 5в, 6а	4а, 5в, 6а	4а, 5а	4а, 5а	4а	4а	4а	4а	3
Св 3 >> 6	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	1,6/5	2/8	3/12	4/18	8/30	10/48	16/75	30/120	40/180	60/300	100/480	160/750	240/1200
	6г	6г	6г	6г	6в	6в	6в	4а, 5в, 6а	4а, 5а	4а, 5а	4а	4а	4а	4а	3	2
>>6 >>10	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36	12/58	18/90	30/150	50/220	80/360	120/580	200/900	300/1500
	6г	6г	6г	6в	6в	6а	4а, 5г, 6а	4а, 5в	4а, 5а	4а, 5а	4а	4а	4а	4а	3	2
>>10 >>18	0,8/2	1,2/3	1,6/5	2,8/8	3/11	5/18	7/27	10/43	14/70	30/110	40/180	60/270	90/430	140/700	240/1100	380/1800
	6г	6г	6г	6в	6в	4а, 5г, 6а	4а, 5в, 6а	4а, 5б	4а, 5а	4а	4а	4а	4а	4а	3	2
>>18 >>30	1/2,5	1,4/4	2/6	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52	18/84	30/130	50/210	70/330	120/520	180/840	280/1300	440/2100
	6г	6г	6в*, г	6в	6а*, в	4а*, в, 5г, 6а*, б	4а*, б, 5в, 6а	4а, 5б, 6а	4а, 5а	4а	4а	4а	3	2	2	2
>>30 >>50	1/2,5	1,4/4	2,4/7	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62	20/100	40/160	50/250	80/390	140/260	200/1000	320/1600	500/2500
	6г	6г	6г	6в	4б, 5г, 6б	4б, 5в, 6а	4а, 5б, 6а	4а, 5а	4а, 5а	4а	4а	4а	3	2	2	1,2
>>50 >>80	1,2/3	1,8/5	2,8/8	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74	30/120	40/190	60/300	100/460	160/740	240/1200	400/1900	600/3000
	6г	6г	6г	6в	4б, 5г, 6б	4б, 5в, 6а*, б	4а*, б, 5б, 6а	4а, 5а, 6а	4а, 5а	4а	4а	4а	3	2	2	1,2
>>80 >>120	1,6/4	2/6	3/10	5/15	6/22	10/35	12/54	20/87	30/140	50/220	70/350	120/540	180/870	280/1400	440/2200	700/3500
	6г	6г	6г	4б*, 6б*, в	4б*, 5г, 6б	4б, 5в, 6б	4б, 5б	4а, 5а, 6а	4а, 5а	4а	4а	4а	4а	3	2	2
>>120 >>180	2/5	2,8/8	4/12	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100	40/160	50/250	80/400	140/630	200/1000	320/1600	500/2500	800/4000
	6г	6г	6в*, г	5г, 6в	5в, 6б	4б, 5б, 6б	4а*, б, 5б, 6а*, б	4а, 5а, 6а	4а, 5а	4а	4а	3,4а	2,4а	2,4а	1,2,4а	1,2,4а
>>180 >>250	2,8/7	4/10	5/14	7/20	8/29	12/46	18/72	30/115	40/185	60/290	100/460	160/720	240/1150	380/1850	600/2900	1000/4600
	6г	6в*, г	6в, 5г*, 6б	5в*, 6б	4б, 5в, 6б	4б, 5б, 6б	4б, 5б, 6б	4а, 5а*, б, 6а	4а, 5а, 6а	4а, 5а	3, 4а	3, 4а	2,4а	2,4а	1,2,4а	1,2,4а
>>250 >>315	3/8	4/12	5/16	8/23	10/32	14/52	20/81	30/130	50/210	70/320	120/520	180/810	260/1300	440/2100	700/3200	1100/5200
	6г	6г	6в*, г	6б	4б, 5в, 6б	4б, 5в, 6б	4в, 5б*, в, 6б	4а, 5а, 6а	4а, 5а, 6а	4а, 5а	4а	4а	4а	2,4а	2,4а	1,2,4а
>>315 >>400	3/9	5/13	6/18	9/25	10/36	16/57	24/89	40/140	50/230	80/360	120/570	180/890	280/1400	460/2300	800/3600	1200/5700
	6г	6г	6в	6б	4б, 5в, 6б	4б, 5в, 6б	4б, 5б, 6б	4а, 5б, 6а	4а, 5а, 6а	4а, 5а, 6а	4а	4а	2,4а	2,4а	1,2,4а	1,2,4а
>>400 >>500	4/10	5/15	6/20	9/27	12/40	18/63	26/97	40/155	50/250	80/400	140/630	200/970	320/1550	500/2500	800/4000	1400/6300
	6г	6г	6г	6б	4б, 5в, 6б	4б, 5в, 6б	4б, 5б, 6б	4б, 5б, 6б	4а, 5б, 6а	4а, 5а, 6а	4а	4а	2,4а	1,2,4а	1,2,4а	1,2,4а

\* Измерительное средство не полностью обеспечивает диапазон номинальных размеров (см. табл 1.16)

Таблица 1.21 Выбор средств измерений внутренних размеров

Номинальные размеры, мм	Квалитет															
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Допускаемая погрешность мкм/допуск, мкм: средства измерений – по табл. 1.16															
До 3	0,4/1,2	0,8/2	1/3	1,4/4	1,8/6	3/10	3/14	6/25	8/40	12/60	20/100	30/140	50/250	80/400	120/600	200/1000
	14	14	14	14	14	14	14	12	11, 12	11	11	11	11	11	11	11
Св 3 >> 6	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	1,6/5	2/8	3/12	4/18	8/30	10/48	16/75	30/120	40/180	60/300	100/480	160/750	240/1200
	13*, 14*	10, 13*, 14*	10, 13*, 14*	7в, 9д	7в, 9г	6б, 7б, 9б,	6б, 7а, 9в	6а, 9а, 11, 12	6а, 9а, 11, 12	6а, 11	11	11	11	11	11	11
>>6 >>10	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36	12/58	18/90	30/150	50/220	80/360	120/580	200/900	300/1500
	10, 13	10, 13	10, 13	7в, 9д	7в, 9г	6б, 7а, 9а	5в, 6а, 7а, 9а, 12	5в, 6а, 7а, 9а, 11, 12	5б, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	2,5а
>>10 >>18	0,8/2	1,2/3	1,6/5	2,8/8	3/11	5/18	7/27	10/43	14/70	30/110	40/180	60/270	90/430	140/700	240/1100	380/1800
	10, 13	8б*, 10, 13	7в, 8а*, 9д	7б, 8а*, 9в	6б, 7б, 8а*, 9б	5в, 6а, 7а, 9а, 12	5в, 6а, 7а, 9а, 11, 12	5б, 9а, 11, 12	5б, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	2
>>18 >>30	1/2,5	1,4/4	2/6	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52	18/84	30/130	50/210	70/330	120/520	180/840	280/1300	440/2100
	10, 13	8б, 10, 13	8а, 9д	7в, 8а, 9в	6б, 7б, 9б	5в, 6а, 7а, 9а, 12	5в, 6а, 12	5б, 11	5б, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	3	2
>>30 >>50	1/2,5	1,4/4	2,4/7	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62	20/100	40/160	50/250	80/390	140/260	200/1000	320/1600	500/2500
	10, 13	8б, 10, 13	8а, 9д	6б, 7б, 9б	5в, 6б, 7а, 9а	5в, 6а, 7а, 9а, 12	5б, 9а, 11, 12	5б, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	2	2
>>50 >>80	1,2/3	1,8/5	2,8/8	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74	30/120	40/190	60/300	100/460	160/740	240/1200	400/1900	600/3000
	8б, 10, 13	8б, 10	8а, 9д	8а, 9б	6б, 8а, 9а	6а, 9а, 12	4б, 5в, 6а, 11, 12	4а, 5б, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	3	2
>>80 >>120	1,6/4	2/6	3/10	5/15	6/22	10/35	12/54	20/87	30/140	50/220	70/350	120/540	180/870	280/1400	440/2200	700/3500

	8б, 10, 13	8б, 10	8а, 9в	6б, 8а, 9а	6б, 9а	4б, 6а, 9а, 11, 12	4б, 6а, 11, 12	4а, 5б, 11	4а, 5в, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	2	2	1,2
>>120 >>180	2/5	2,8/8	4/12	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100	40/160	50/250	80/400	140/630	200/1000	320/1600	500/2500	800/4000
	13	8б	8б	8а	6а, 8а, 12	6а, 11*, 12	4б, 5б, 11, 12	4а, 5а, 11*, 12	4а, 5а, 11*, 12	4а, 5а, 11*, 12	4а, 5а, 11*, 12	4а, 5а, 11*, 12	4а, 5а, 11*, 12	3	2	1,2
>>180 >>250	2,8/7	4/10	5/14	7/20	8/29	12/46	18/72	30/115	40/185	60/290	100/460	160/720	240/1150	380/1850	600/2900	1000/4600
	8б	8б	8а	6а, 8а, 12*	6а, 8а, 12*	6а, 12*	4б, 5б, 12*	4а, 5а, 12*	4а, 5а, 12*	4а, 5а, 12*	4а, 5а, 12*	4а, 5а, 12*	4а, 5а, 12*	3	2	1,2
>> 250 >>315	3/8	4/12	5/16	8/23	10/32	14/52	20/81	30/130	50/210	70/320	120/520	180/810	260/1300	440/2100	700/3200	1100/5200
	-	-	-	-	6б, 8а	6а, 8а	4б, 5б	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	3	2	1,2
>>315 >>400	3/9	5/13	6/18	9/25	10/36	16/57	24/89	40/140	50/230	80/360	120/570	180/890	280/1400	460/2300	800/3600	1200/5700
	-	-	-	-	8а	6б, 8а	6а, 8а	4б, 5б	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	3	2	1,2
>>400 >>500	4/10	5/15	6/20	9/27	12/40	18/63	26/97	40/155	50/250	80/400	140/630	200/970	320/1550	500/2500	800/4000	1400/6300
	-	-	-	6б, 8а	6а, 8б	6а, 8б	4б, 5б	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	2	1,2	1,2

\* Измерительное средство не полностью обеспечивает диапазон номинальных размеров (см. табл 1.17)

Таблица 1.22 Выбор средств измерений глубин и уступов

Номинальные размеры, мм	Квалитет															
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Допускаемая погрешность мкм/допуск, мкм: средства измерений – по табл. 1.16															
До 3	0,4/1,2	0,8/2	1/3	1,4/4	1,8/6	3/10	3/14	6/25	8/40	12/60	20/100	30/140	50/250	80/400	120/600	200/1000
	-	40б	40б	40б	40а	40а	40а	38б, 39б	38б, 39б	38б, 39б	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	37	37
Св 3 >> 6	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	1,6/5	2/8	3/12	4/18	8/30	10/48	16/75	30/120	40/180	60/300	100/480	160/750	240/1200
	40б	40б	40б	40а	40а	40а	39а	38б, 39б	38б, 39б	38б, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	37	37	37
>>6 >>10	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36	12/58	18/90	30/150	50/220	80/360	120/580	200/900	300/1500
	40б	40б	40б	40а	40а	39в	39в	38б, 39б	38б, 39б	38б, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	37	37	37
>>10 >>18	0,8/2	1,2/3	1,6/5	2,8/8	3/11	5/18	7/27	10/43	14/70	30/110	40/180	60/270	90/430	140/700	240/1100	380/1800
	40б	40б	40а	40а	40а	39в	38б, 39б	38б, 39б	38б, 39б	38б, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39б	37	37	37
>>18 >>30	1/2,5	1,4/4	2/6	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52	18/84	30/130	50/210	70/330	120/520	180/840	280/1300	440/2100
	40б	40б	40а	40а	40а	38б, 39в	38б, 39б	39б, 39б	38б, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39б	37	37	37	37
>>30 >>50	1/2,5	1,4/4	2,4/7	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62	20/100	40/160	50/250	80/390	140/260	200/1000	320/1600	500/2500
	40б	40б	40а	40а	39в	38б, 39б	38б, 39б	38б, 39в	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	37	37	37	1,37
>>50 >>80	1,2/3	1,8/5	2,8/8	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74	30/120	40/190	60/300	100/460	160/740	240/1200	400/1900	600/3000
	-	40б	40а	40а	39в	38б, 39б	38б, 39б	38б, 39в	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	37	37	37	1,37
>>80 >>120	1,6/4	2/6	3/10	5/15	6/22	10/35	12/54	20/87	30/140	50/220	70/350	120/540	180/870	280/1400	440/2200	700/3500
	-	40а	40а	40а	39в	38б, 39б	38б, 39б	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	37	37	37	1,37
>>120 >>180	2/5	2,8/8	4/12	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100	40/160	50/250	80/400	140/630	200/1000	320/1600	500/2500	800/4000



	40a*	40a*	40a*	40a*	40a*	38б*, 39б*	38б*, 39б*	38а*, 39а*	38а*, 39а*	38а*, 39а*	38а*, 39а*	38а*, 39а*	37	37	1,37	1,37	
>>180 >>250	2,8/7	4/10	5/14	7/20	8/29	12/46	18/72	30/115	40/185	60/290	100/460	160/720	240/115 0	380/185 0	600/290 0	1000/46 00	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	37	37	1,37	1,37
>> 250 >>315	3/8	4/12	5/16	8/23	10/32	14/52	20/81	30/130	50/210	70/320	120/520	180/810	260/130 0	440/210 0	700/320 0	1100/52 00	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	37	37	1,37	1,37
>>315 >>400	3/9	5/13	6/18	9/25	10/36	16/57	24/89	40/140	50/230	80/360	120/570	180/890	280/140 0	460/230 0	800/360 0	1200/57 00	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	37	37	1,37	1,37
>>400 >>500	4/10	5/15	6/20	9/27	12/40	18/63	26/97	40/155	50/250	80/400	140/630	200/970	320/155 0	500/250 0	800/400 0	1400/63 00	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1

Таблица 1.23 Выбор средств измерений радиального и торцевого биения поверхностей

Допуск, мм	Допускаемая погрешность измерения, мкм	Диапазоны диаметров измеряемых поверхностей, мм						
		До 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
		Средства измерений - по табл. 1.16						
0,4	0,14	19г, 27г, 28в, 36ц						
0,5	0,18	18г, 19в, 27г, 28в, 36ц						
0,6	0,2	18в, 19в, 24д, 26г, 27в, 28в, 36ф						
0,8	0,3	17г, 18в, 19в, 22д, 24г, 26г, 27в, 36у						
1	0,35	17г, 18в, 22д, 24г, 26г, 27в, 36у	17г, 18в, 22д, 24г, 26г, 27в, 36у					
1,2	0,4	17в, 18в, 22г, 23в, 24в, 25г, 26в, 27в, 36у	17в, 18в, 22г, 23в, 24в, 25г, 26в, 27в, 36у	17в, 18в, 22г, 23в, 24в, 25г, 26в, 27в, 36у				
1,6	0,6	16г, 17н, 21д, 22в, 23б, 24в, 25г, 26в, 29г, 36т	16г, 17н, 21д, 22в, 23б, 24в, 25г, 26в, 29г, 36т	16г, 17н, 21д, 22в, 23б, 24в, 25г, 26в, 29г, 36т				
2	0,7	16г, 17н, 21д, 22в, 23б, 24в, 25г, 26в, 29г, 36т	16г, 17н, 21д, 22в, 23б, 24в, 25г, 26в, 29г, 36т	16г, 17н, 21д, 22в, 23б, 24в, 25г, 26в, 29г, 36т	22г, 23б, 24в, 36т			
2,5	0,9	10в, 16в, 21г, ж, 22в, 23б, 25в, 29г, 36т	10в, 16в, 21г, ж, 22в, 23б, 25в, 29г, 36т	10в, 16в, 21г, 22в, 23б, 25в, 29г, 36т	21д, ж, 22в, 23б, 24в, 36т	23в, 36т	23в, 36т	
3	1	10в, 15г, 16в, 21г, ж, 22в, 23б, 29в, 36т	10в, 15г, 16в, 21г, ж, 22в, 23б, 29в, 36т	15г, 16в, 21г, ж, 22в, 23б, 24в, 29в, 36т	21г, ж, 22в, 23б, 24в, 36т	21ж, 22г, 23в, 36т	23в, 36т	23в, 36т
4	1,4	9в, 10в, 15г, 16в, 21в, е, 29в, 36с	9в, 10в, 15г, 16в, 21в, е, 29в, 36с	10в, 15г, 16в, 21в, е, 22в, 23б, 29в, 36с	10в, 21в, е, 22в, 23б, 36с	10в, 21г, ж, 22г, 23б, 36с	21ж, 23в, 36с	21ж, 23в, 36с
5	1,8	9в, 10в, 15г, 16в, 21в, е, 29в, 36с	9в, 10в, 15г, 16в, 21в, е, 29в, 36с	9в, 10в, 15в, 20г, 21в, е, 29в, 36с	9в, 10в, 20г, 21в, е, 36с	9в, 10в, 20г, 21в, е, 22в, 23б, 36с	21г, е, 22г, 23б, 36с	21г, ж, 22г, 23б, 36с
6	2	9в, 10в, 11е, 12г, 15в, 20в, 21в, е, 29б, 36с	9в, 10в, 11е, 12г, 15в, 20в, 21в, е, 29б, 36с	9в, 10в, 11е, 12г, 15в, 20в, 21в, е, 29б, 36с	9в, 10в, 20в, 21в, е, 36с	9в, 10в, 20г, 21в, е, 22в, 23б, 36с	20г, 21г, е, 22г, 23б, 36с	20г, 21г, е, 22г, 23б, 36с
8	3	9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 15в, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 15в, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 15в, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 12в, 20в, 36р	9в, 10в, 20в, 21в, е, 22в, 36р	20в, 21в, е, 22в, 23б, 36р	20г, 21в, е, 22в, 23б, 36р
10	3,5	9в, 10в, 11е, 12в,	9в, 10в, 11е, 12в,	9в, 10в, 11е, 12в,	9в, 10в, 12в, 20в,	9в, 10в, 20в, 21в,	20в, 21в, е, 22в,	20в, 21в, е, 22в,

		14г, 20в, 29а, 36р	14г, 20в, 29а, 36р	14г, 20в, 29а, 36р	36р	36р	36р	36р
12	4	9в, 10в, 11е, 12в, 13г, 14в, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 11е, 12в, 13г, 14в, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 11с, 12в, 13г, 14в, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 12в, 36р	9в, 10в, 20в	20в, 21г, 22в, 36р	20в, 21г, 22в, 35р

Продолжение табл. 1.23

Допуск, мм	Допускаемая погрешность измерения, мкм	Диапазоны диаметров измеряемых поверхностей, мм						
		До 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
		Средства измерений - по табл. 1.16						
16	6	7р, х, 9в, 10в, 11г, 12в, 13в, 14в, 29а	7р, х, 9в, 10в, 11г, 12в, 13в, 14в, 29а	7р, х, 9в, 10в, 11г, 12в, 13в, 14в, 29а	7р, х, 9в, 10в, 11г, 12в	7р, х	7р, х, 20в	7р, х, 20в
20	7	7р, х, 9в, 10в, 11г, 13в, 14в	7р, х, 9в, 10в, 11г, 13в, 14в	7р, х, 9в, 10в, 11г, 13в, 14в	7р, х, 10в, 11г	7р, х	7р, х	7р, х, 20в
25	9	7п, 11г, 13в	7п, 11г, 13в	7п, 11г, 13в	7п, 11г	7п	7п	7п
30	9	7п, 11г, 13в	7п, 11г, 13в	7п, 11г, 13в	7п, 11г	7п	7п	7п
40	12	7п, 8б, 11г, 13в	7п, 8б, 11г, 13в	7п, 8б, 11г, 13в	7п, 8б, 11г	7п, 8б	7п, 8б	7п, 8б
50	15	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а
60	18	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а
80	20	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а
100	25	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
120	30	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
160	40	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
200	50	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
250	50	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
300	60	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
400	80	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
500	100	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
600	120	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
800	160	7о	7о	7о	7о	7о	7о	7о
1000	200	7н	7н	7н	7н	7н	7н	7н
1200	240	7н	7н	7н	7н	7н	7н	7н
1600	320	7н	7н	7н	7н	7н	7н	7н
2000	400	7м	7м	7м	7м	7м	7м	7м
2500	500		7м	7м	7м	7м	7м	7м
3000	600			7м	7м	7м	7м	7м
4000	800					7м	7м	7м
5000	1000							7л

Таблица 1.24 Выбор средств измерений размеров с неуказанными допусками

Номиналь- ые размеры, мм	Измерение наружных размеров				Измерение внутренних размеров				Измерение глубин и уступов			
	Клас- точности "Точный" или квалитеты 12 и 13	Клас- точности "Средний" или квалитеты 14 и 15	Клас- точности "Грубый" или квалитет 16	Клас- точности "Очень грубый" или квалитет 17	Клас- точности "Точный" или квалитеты 12 и 13	Клас- точности "Средний" или квалитеты 14 и 15	Клас- точности "Грубый" или квалитет 16	Клас- точности "Очень грубый" или квалитет 17	Клас- точности "Точный" или квалитеты 12 и 13	Клас- точности "Средний" или квалитеты 14 и 15	Клас- точности "Грубый" или квалитет 16	Клас- точности "Очень грубый" или квалитет 17
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/средства измерений наружных размеров, глубин и уступов - по табл. 1.16; внутренних размеров - по табл. 1.17											
Св 1 до 3	$\frac{50}{4}$	$\frac{100}{3}$	$\frac{150}{2}$	$\frac{150}{2}$	$\frac{50}{-}$	$\frac{100}{-}$	$\frac{150}{-}$	$\frac{150}{-}$	$\frac{50}{38a,39a}$	$\frac{100}{37}$	$\frac{150}{37}$	$\frac{150}{37}$
>> 3 >>6	$\frac{50}{4}$	$\frac{100}{3}$	$\frac{200}{2}$	$\frac{500}{1.2}$	$\frac{50}{-}$	$\frac{100}{-}$	$\frac{200}{-}$	$\frac{500}{-}$	$\frac{50}{38a,39a}$	$\frac{100}{37}$	$\frac{200}{37}$	$\frac{500}{1}$
>> 6 >> 30	$\frac{100}{3}$	$\frac{200}{2}$	$\frac{300}{2}$	$\frac{500}{1.2}$	$\frac{100}{5}$	$\frac{200}{2}$	$\frac{300}{2}$	$\frac{500}{1.2}$	$\frac{100}{37}$	$\frac{250}{37}$	$\frac{300}{37}$	$\frac{500}{1}$
>> 30 >>120	$\frac{150}{2}$	$\frac{250}{2}$	$\frac{400}{1.2}$	$\frac{800}{1.2}$	$\frac{100}{3}$	$\frac{250}{2}$	$\frac{400}{2}$	$\frac{800}{1.2}$	$\frac{150}{37}$	$\frac{250}{37}$	$\frac{400}{37}$	$\frac{800}{1}$
>> 120 >> 315	$\frac{200}{2.4}$	$\frac{300}{2.4}$	$\frac{600}{1.2.4}$	$\frac{1000}{1.2.4}$	$\frac{200}{2}$	$\frac{300}{2}$	$\frac{600}{1.2}$	$\frac{1000}{1.2}$	$\frac{200}{37}$	$\frac{300}{37}$	$\frac{600}{1}$	$\frac{1000}{1}$
>> 315 >>500	$\frac{300}{2.4}$	$\frac{500}{1.2.4}$	$\frac{1000}{1.2.4}$	$\frac{1000}{1.2.4}$	$\frac{300}{2}$	$\frac{500}{1.2}$	$\frac{1500}{1.2}$	$\frac{1500}{1.2}$	$\frac{300}{37}$	$\frac{500}{1}$	$\frac{1000}{1}$	$\frac{1500}{1}$

Примечание. Точность внутренних размеров в диапазоне св. 1 до 6 мм. обеспечивается технологически размерами режущего инструмента. Контроль в случае необходимости можно производить калибрами или специальными измерительными средствами.

## Перелік посилань

1. Иванов А.Г. "Измерительные приборы в машиностроении", Изд.стандартов, 1981 г.
2. Якушенков Ю.Г. "Высокоточные измерения углов", М.: Машиностроение, 1987 г.
3. Галшис В.А. и др. "Координатные измерительные машины и их применение", М.: Машиностроение, 1988 г.
4. Городецкий Ю.Г. "Конструкции, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов", М.: Машиностроение. 1972 г.
5. Богуславский М.Г.: Цейтлин Я.М. "Приборы и методы точных измерений длин и углов", Изд.стандартов, 1976 г.
6. Коломийцев Ю.В. и др. "Оптические приборы для измерения длин и углов" М. Машиностроение, 1968 г.
7. Конюхов Н.Е. "Оптоэлектронные контрольно-измерительные устройства", М.:Машиностроение, 1985 г.
8. Ионак В.Ф. "Приборы кинематического контроля", М. Машиностроение, 1981 г.
9. Линейные и угловые измерения/Под ред. Г.Д. Бурдуна - М.: Издательство.

## Завдання до контрольних робіт

### Контрольна робота №1

1. Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання наступних лінійних розмірів (*додаток 1*).
2. Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta_{\text{ш}}$ ) при короткочасному коливанні температури  $\Delta_2$ .
3. Визначити параметри розбракування ( $m$ ,  $n$ ,  $\frac{c}{IT}$ ).

## Варіант 1

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
2	F	11	4	БрБ2
85	G	9	3	БрАЖН 10-4-4
140	D	6	5	АЛ11
320	Js	5	2	45Г2
19	d	9	3	АЛ9
95	e	6	2	ВЧ38
180	c	11	4	МЛ4
450	f	5	5	БрАЖН 10-4-4

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

## Варіант 2

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
12	B	8	2	ЛЖМц59-1-1
60	CD	11	4	АЛ13
240	E	7	3	СЧ45
300	FG	5	5	БрАЖ9-4
9	d	9	2	СТАЛЬ 45
67	a	11	5	ЛС59-1Л
125	c	8	4	АЛ11
380	ef	6	3	БрОЦС 5-5-5

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 3

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
28	F	7	5	45Г2
71	CD	5	3	АЛ9
130	E	6	2	65Г
500	D	9	4	БрАЖ9-4
9	js	11	4	ЛЖМц59-1-1
42	c	9	5	65Г
150	h	5	3	20Х
400	g	6	2	АЛ13

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища 20 С – (dt1) при короткочасному коливанні температури dt2=0,4С. Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 4

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
20	CD	11	4	45Г2
48	F	6	2	40ХН
140	H	7	5	АЛ13
420	C	5	3	ЛА67-2,5
6	d	9	5	МЛ4
90	e	11	2	АЛ13
180	fg	8	3	ЛС59-1
340	g	5	4	40ХН

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища 20 С – (dt1) при короткочасному коливанні температури dt2=0,4С. Визначити параметри розбракування (m, n, c).



## Варіант 5

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
15	B	5	4	ВЧ45
34	EF	11	3	АЛ9
140	A	8	2	СЧ30
340	C	9	5	ЛА67-2,5
2	c	9	5	БрОЦС 5-5-5
75	e	8	3	Д16П
200	e	11	4	ЛЖМц59-1-1
260	b	5	2	20Х

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

## Варіант 6

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
28	F	11	3	50Г
95	H	9	4	ЛЖМц59-1-1
160	C	7	5	БрАЖН 10-4-4
340	E	6	2	АЛ11
5	fg	6	2	Д16
39	f	11	3	БрОЦС 5-5-5
150	g	7	5	Д16П
360	h	8	4	ВЧ38

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

## Варіант 7

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
10	C	8	4	18ХГТ
100	E	9	2	18ХГТ
150	G	5	5	АЛ11
500	CD	11	3	БрАЖН 10-4-4
28	k	11	2	МА2
75	g	7	5	СЧ30
240	g	5	3	МА2
320	f	8	4	ЛС59-1Л

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища 20 С – (dt1) при короткочасному коливанні температури dt2=0,4С. Визначити параметри розбракування (m, n, c).

## Варіант 8

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
18	F	9	4	КЧ30
53	F	11	5	40ХН
240	C	7	3	АЛ13
400	B	8	2	ЛС59-1
26	g	11	3	20Х
90	n	8	2	СТАЛЬ 45
180	c	9	5	ЛА67-2,5
360	d	5	4	Д16

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 9

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
4	H	11	5	ЛС59-1
32	JS	5	3	ЛА67-2,5
190	A	8	4	ВЧ50
400	CD	9	2	МЛ4
17	a	8	3	МЛ5
71	js	6	5	ЛЖМц59-1-1
210	f	9	2	50Г
340	e	11	4	ЛС59-1

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 10

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
13	F	5	5	СЧ30
63	B	6	3	БрАЖ9-4
240	FG	7	2	МЛ4
300	C	9	4	АЛ9
24	h	8	2	БрАЖ9-4
53	ef	6	5	СЧ30
200	js	11	3	ВЧ45
400	f	9	4	Д16

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 11

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
9	H	9	5	ВЧ38
45	F	11	4	БрАЖМц 10-3-1,5
160	G	6	2	ЛС59-1Л
480	G	7	3	МЛ5
14	f	5	2	Д16П
110	d	11	4	ЛЖМц59-1-1
190	b	9	3	ЛАЖ60-1-1Л
320	e	6	5	65Г

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 12

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
8	B	8	4	ВЧ45
53	H	6	3	Д16П
180	C	5	2	АЛ9
360	D	9	5	ЛЖМц59-1-1
11	cd	9	3	МЛ4
42	f	11	5	БрБ2
150	fg	7	2	Ла67-2,5
450	g	5	4	18ХГТ

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 13

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
1	A	9	2	БрАЖН 10-4-4
48	B	8	5	40ХН
250	JS	7	3	КЧ35
380	D	5	4	МА2
10	fg	11	2	ВЧ50
56	f	9	5	Ал9
180	k	7	4	20Ч
420	g	6	3	БрБ2

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 14

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
28	R	11	4	МА2
85	P	9	3	Fk1
240	S	7	2	АЛ9
380	D	6	5	БрАЖН 10-4-4
18	a	8	2	СХ45
56	js	11	5	АЛ11
170	fg	7	4	СЧ30
320	g	6	3	БрАж9-4

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 15

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
1	CD	5	2	ЛАЖ60-1-1Л
34	FG	9	5	20X
150	JS	6	4	АЛ13
260	A	11	3	СЧ30
9	B	6	5	АЛ9
95	cd	9	3	СЧ45
160	p	7	4	БрБ2
360	G	6	2	СЧ45

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 16

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
3	A	7	3	БрАж9-4
95	D	9	4	ВЧ45
190	K	11	5	КЧ35
400	Z	6	2	Д16
19	B	5	3	МА2
100	js	9	3	КЧ35
210	p	11	5	БрАЖН 10-4-4
450	b	7	4	АЛ9

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 17

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
26	A	11	2	Д16
34	D	7	3	БрОЦС5-5-5
210	N	5	5	БрАЖ9-4
360	U	9	4	18ХГТ
4	a	6	3	ВЧ38
105	u	9	5	45Г2
250	p	8	4	ЛЖМц59-1-1
480	y	7	2	АЛ9

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 18

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
19	A	7	5	40ХН
75	S	6	3	Ла67-2.5
125	P	11	4	БрАЖ9-4
320	Y	8	2	МА2
11	a	11	4	ЛС59-1Л
60	js	9	3	МЛ4
250	u	7	5	КЧ30
280	x	5	2	БрАЖН 10-4-4

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування ( $m, n, c$ ).

### Варіант 19

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
6	C	9	2	АЛ11
34	S	11	5	ЛС59-1
250	U	5	3	АЛ11
420	Z	6	4	ВЧ45
14	a	8	4	КЧ35
100	js	11	5	БрАЖН 10-4-4
200	b	9	3	Мл4
300	t	7	2	АЛ11

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування ( $m, n, c$ ).

### Варіант 20

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
22	K	9	4	50Г
56	B	8	2	АЛ9
190	D	11	5	ЛЖМц59-1-1
260	A	5	3	СЧ30
15	c	7	3	Д16П
42	p	9	4	ВЧ45
200	m	5	5	18ЧГТ
340	k	11	2	ЛС59-1Л



Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 21

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
16	M	9	3	МЛ4
67	U	5	2	МЛ5
200	X	11	5	ЛА67-2.5
480	Z	7	4	18ХГТ
25	a	11	5	Сталь 45
36	s	8	2	ЛС59-1Л
240	p	5	4	20Х
280	js	9	3	АЛ9

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .  
Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 22

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
22	P	11	3	БрОЦС 5-5-5
32	Z	7	5	АЛ11
140	M	9	2	ВЧ50
260	R	6	3	ВЧ38
20	u	9	2	45Г2
50	r	5	5	ЛС59-1Л
130	x	7	4	ЛС59-1
500	e	6	3	МЛ5

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища  $20\text{ C} - (dt_1)$  при короткочасному коливанні температури  $dt_2=0,4\text{C}$ .

Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 23

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
20	E	11	5	КЧ30
32	U	9	2	Сталь 30
140	T	7	4	ЛЖМц59-1-1
480	N	8	3	Д16
20	m	9	2	БрАЖ9-4
34	k	11	5	КЧ30
200	a	6	4	МА2
340	h	5	3	40ХН

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища 20 С – (dt1) при короткочасному коливанні температури dt2=0,4С.

Визначити параметри розбракування (m, n, c).

### Варіант 24

Вибрати універсальні вимірювальні засоби для вимірювання слідуєчих лінійних розмірів:

Номін. розмір, мм	Вид основного відхилення	Квалітет	Відн. точність виготовлення	Матеріал
11	K	11	4	БрАЖМц10-3-1.5
90	U	5	5	АЛ11
140	A	7	3	БрАЖМц10-3-1.5
380	P	8	2	Сталь 45
17	k	8	5	40ХН
45	z	7	2	20Х
180	y	5	3	ЛАЖ60-1-1л
380	n	6	4	МА2

Встановити допустимі при вимірюванні відхилення від температури середовища 20 С – (dt1) при короткочасному коливанні температури dt2=0,4С.

Визначити параметри розбракування (m, n, c).

## Контрольна робота №2

### Задача 2.1

Визначити відносним методом похибку положення механізму, при наступних значеннях параметрів (таблиця 2.1):

Таблиця 2.1

№ варіанту за останньою цифрою залікової книжки	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	№ схеми
0	10	25	15	30	1
1	20	30	20	45	2
2	25	45	40	50	3
3	30	20	10	15	4
4	15	50	35	40	5
5	45	60	25	35	1
6	40	15	60	10	2
7	35	55	50	20	3
8	55	10	30	25	4
9	50	40	45	55	5

Схема 2.1

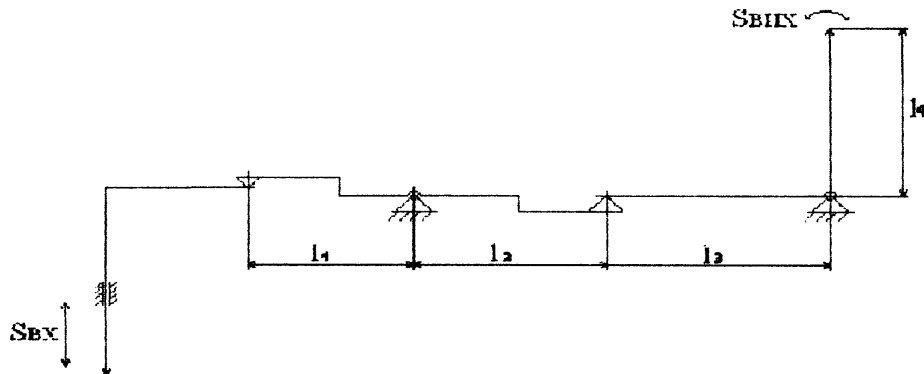


Схема 2.2

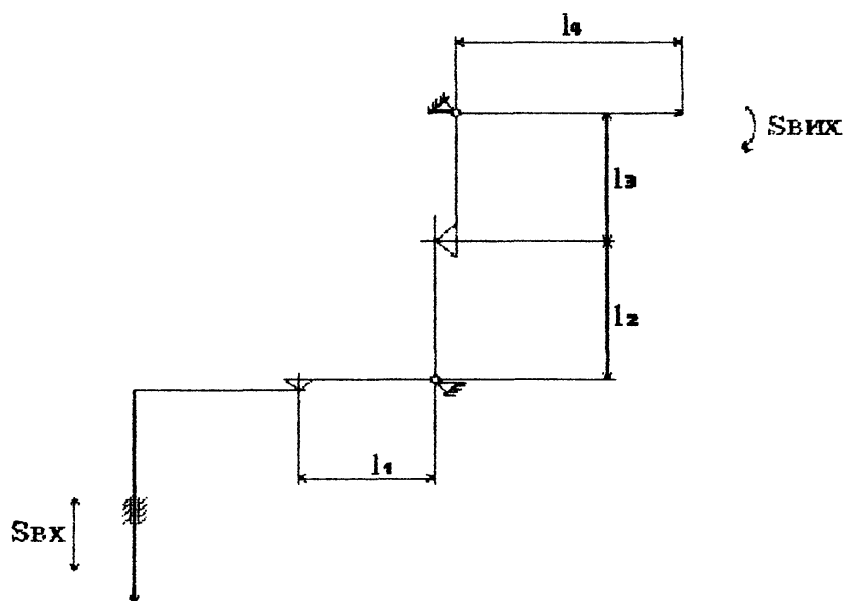


Схема 2.3

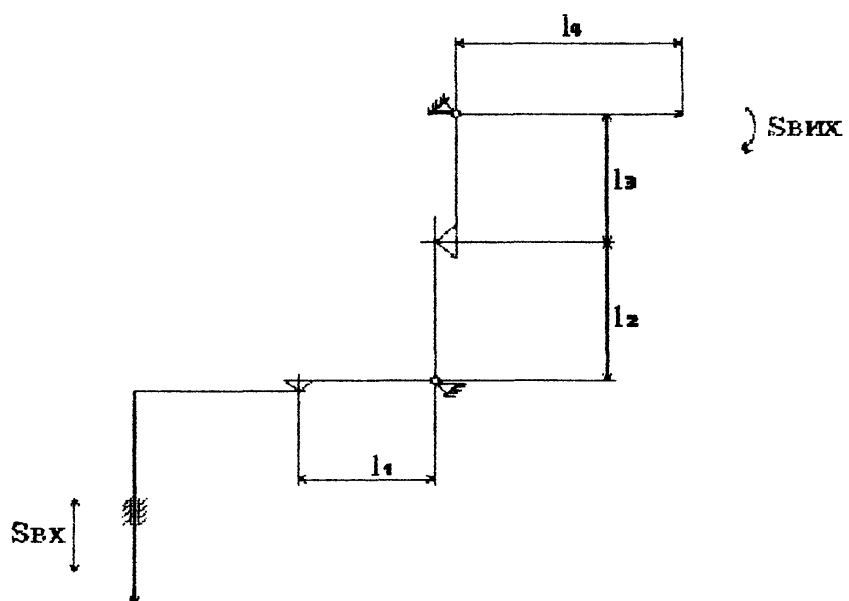


Схема 2.4

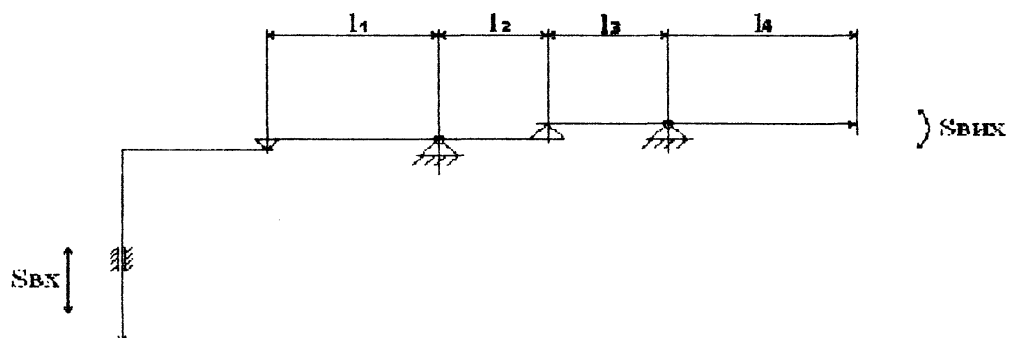
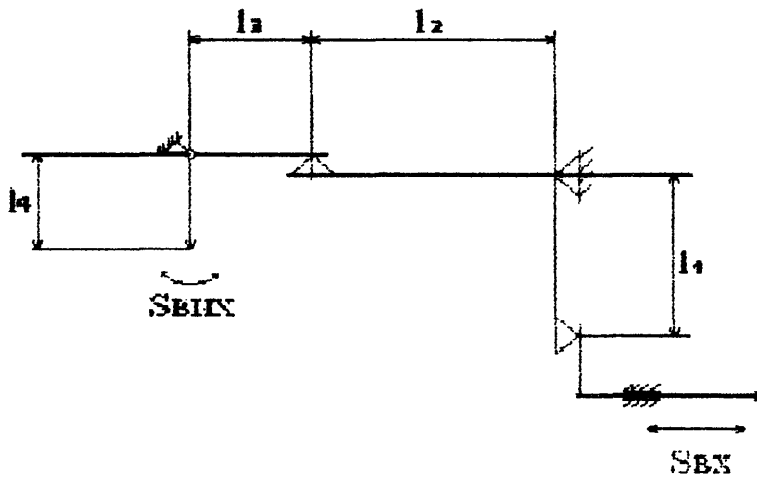


Схема 2.5



## Задача 2.2

Визначити похибку положення синусно-зубчастого механізму диференціальним методом для найбільшого значення переміщення ведучої ланки  $S_{max}$  (прийняти точність виготовлення ланок  $a$ ,  $R$ ,  $z$  по 7 квалітету IT7 ГОСТ 25346-82, ланки  $L$  по 12 квалітету IT 12 ГОСТ 25346-82)

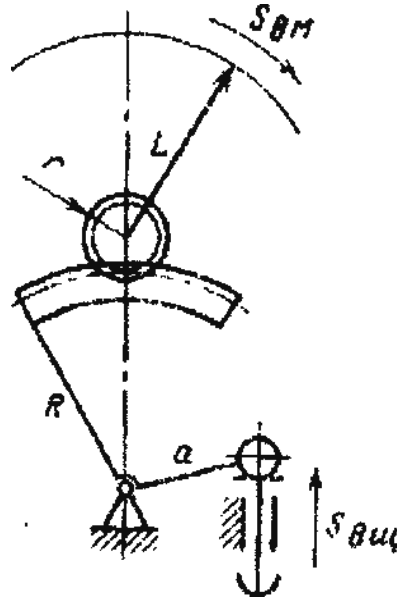


Рисунок 2.2 – Схема синусно-зубчастого механізму

Таблиця 2.2

№ варіанту за останньою цифрою залікової книжки	$S_{max}$	$L$	$z$	$R$	$A$
1	1	25	5	15	3
2	0.5	20	4	20	6
3	0.8	40	8	30	5
4	1.5	35	8	25	4
5	0.6	30	6	35	2.5
6	0.8	20	7	15	3
7	1	40	6	35	2.5
8	1.5	25	5	25	6
9	0.5	35	7	30	5
0	0.6	30	4	20	6

### Контрольна робота №3

#### Задача 3.1

Визначити похибку схеми синусного механізму, якщо ведучою ланкою є штовхач 1, при наступних даних:

*граничні значення переміщень:  $\pm S$  (мм)*

*найбільший кут повороту важеля:  $\pm\varphi$  (градусів)*

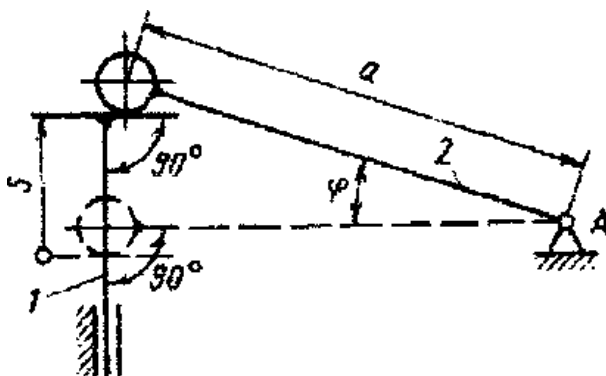


Рисунок 3.1 - Схема синусного механізму

Таблиця 3.1

№ варіанту за останньою цифрою залікової книжки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
S	1	0,6	2	3	2,5	1,2	1,4	0,8	0,5	1,5
φ	5	3	10	15	12	6	8	4	2,5	5

#### Задача 3.2

Визначити похибку схеми тангенсного механізму, якщо ведучою ланкою є штовхач 1, при наступних даних:

*граничні значення переміщень:  $\pm S$  (мм)*

*найбільший кут повороту важеля:  $\pm\varphi$  (градусів)*

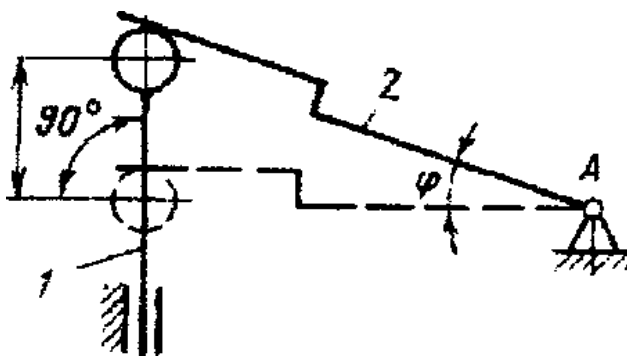


Рисунок 3.2 - Схема тангенсного механізму

Таблиця 3.2

№ варіанту за останньою цифрою залікової книжки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
S	1	0,6	2	3	2,5	1,2	1,4	0,8	0,5	1,5
φ	5	3	10	15	12	6	8	4	2,5	5



## Контрольна робота №4

Визначити похибку повороту синусного механізму в діапазоні роботи штовхача від 0 до  $S_{max}$ , якщо довжина важеля  $a$ , похибка початкового положення  $\alpha$ , перекус площадки  $\rho$ . Відхилення форми профілю робочої поверхні штовхача визначити по шорсткості.

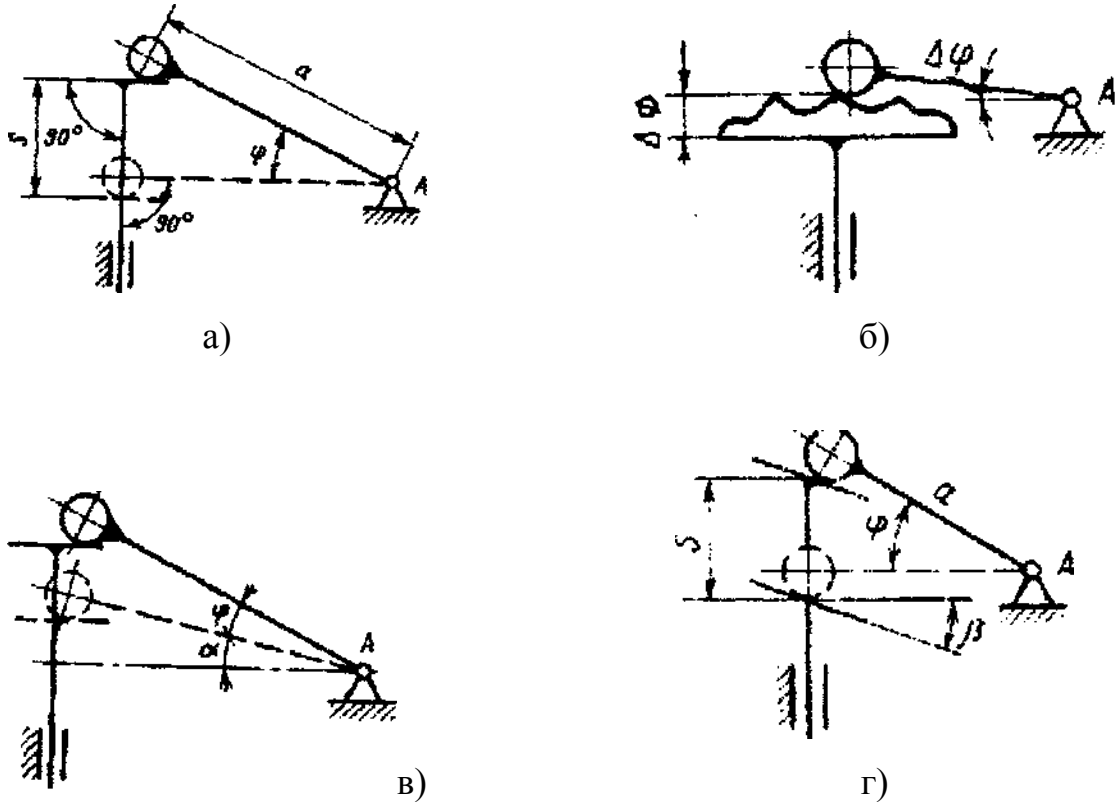


Рисунок 4.1- Схема синусного механізму а-без похибок, б - з похибкою форми поверхні штовхача; в - з похибкою початкового положення важеля; г - з похибкою від перекосу площадки штовхача

Таблиця 4.1

№ варіанту за останньою цифрою залікової книжки	$\alpha$	$\beta$	$a$	$S_{max}$
0	30'	1°	3	0,1
1	6'	30'	5	0,2
2	20'	2°	2	0,5
3	10'	1°30'	7	0,4
4	5'	40'	4	0,25
5	25'	45'	6	0,6
6	15'	50'	8	1,0
7	18'	20'	2,5	1,5
8	12'	1°15'	4,5	0,8
9	25'	1°45'	3,5	0,15

## Контрольна робота №5

### Задача 5.1

Визначити похибку схеми співвісного кривошипно-повзунного механізму при ведучому повзуні 2, якщо задано:

- максимальне переміщення повзуна від середнього положення  $+S$  мм
- найбільший кут повороту кривошипа  $\pm\varphi^\circ$

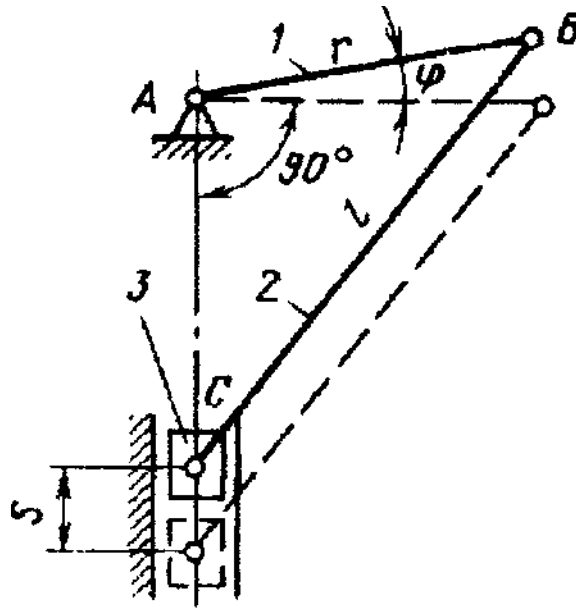


Рисунок 5.1 - Схема співвісного кривошипно-повзунного механізму

Таблиця 5.1

№ варіанту за останньою цифрою залікової книжки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
S	1	0,6	2	3	2,5	1,2	1,4	0,8	0,5	1,5
$\varphi$	5	3	10	15	12	6	8	4	2,5	5

### Задача 5.2

Визначити похибку схеми кулісного механізму при ведучому кривошипі 1, якщо задано:

- найбільший кут повороту кривошипа  $1 \pm \varphi$
- найбільший кут повороту куліси  $\pm \gamma$

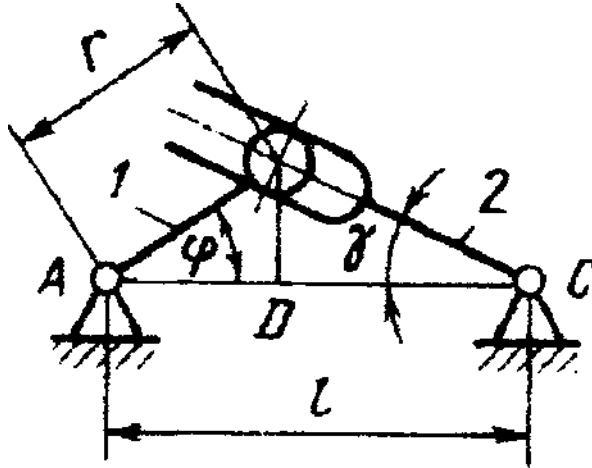


Рисунок 5.2 - Схема кулісного механізму

Таблиця 5.2

№ варіанту за останньою цифрою залікової книжки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\varphi$	20	4	25	5	10	6	8	2	15	12
$\gamma$	50	15	12	18	25	30	40	10	45	40

## Контрольна робота №6

Визначити найбільші похибки, точки регулювання і значення довжини важеля  $a$  синусного механізму, якщо ведучою ланкою є важіль 2, Розрахунок провести для трьох методів регулювання:

1) регулювання до досягнення нульової похибки в нульовій точці шкали (регулювання по одній точці);

2) регулювання до досягнення нульових похибок в нульовій точці і на кінцях шкали (регулювання по двох точках);

3) регулювання до досягнення нульових похибок в нульовій точці і деякій проміжній точці шкали, яка вибрана при умові забезпечення рівності по модулю найбільшої і найменшої похибок (регулювання по двох точках),

Побудувати графіки зміни величини переміщення  $S$  в залежності від зміни кута  $\varphi$  для трьох методів в діапазоні зміни кута  $\varphi$  від  $\varphi_0=0^\circ$  до  $\varphi_{\max}$

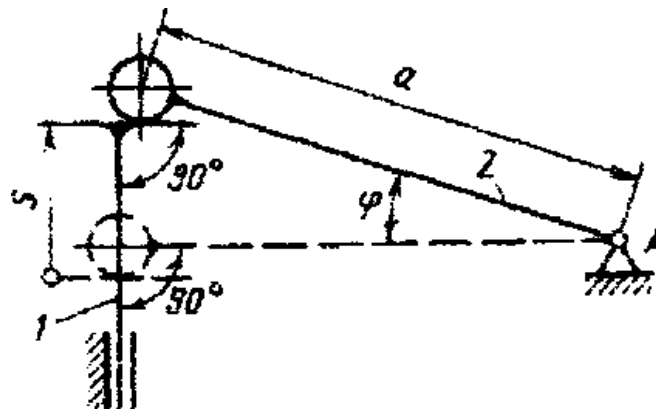


Рисунок 6,1 - Схема синусного механізму

Таблиця 6,1

№ варіанту за останньою цифрою залікової книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	3	5	6	7	4	6	8	2,5	4,5	3,5
c	0,1	0,2	0,5	0,4	0,25	0,6	1,0	1,5	0,8	0,15
$\varphi_{\max}$ , (градусів)	20	4	2,5	5	10	6	8	2	15	12