

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»**

**Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства**

**МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению практических работ
для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение»
(программа магистерской подготовки «Обеспечение качественно-точных
характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном
машиностроительном производстве»)
всех форм обучения**

Воронеж 2021

УДК 621.002:658.51(07)
ББК 34.5я7

Составители:

*ст. преп. Ю. Э. Симонова,
канд. техн. наук М. Н. Краснова*

Методы обеспечения точности автоматизированного машиностроительного производства: методические указания к выполнению практических работ для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение» (программа магистерской подготовки «Обеспечение качественно-точных характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном машиностроительном производстве») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Ю. Э. Симонова, М. Н. Краснова. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. - 39 с.

В методических указаниях изложены требования и общие вопросы по выполнению практических работ, приведены теоретические сведения, полезные не только для выполнения практических работ, но и при подготовке к сдаче зачетов и экзаменов. Выполнение практических работ дает возможность ознакомления при выборе параметров шероховатости поверхностного слоя при обработке лезвийным инструментом, способах расчета погрешностей, оценке изменения точностных характеристик технологических систем во времени.

Предназначены для студентов всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МОТАМППР.pdf.

Табл. 38. Библиогр.: 5 назв.

**УДК621.002:658.51(07)
ББК34.5я7**

Рецензент - С.Ю. Жачкин, д-р. техн. наук, проф., проф. кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

Практическая работа № 1

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Цель работы: ознакомление с методикой теоретического определения параметров шероховатости при лезвийной обработке материалов.

Эксплуатационные свойства деталей машин характеризуются состоянием их поверхностного слоя, в частности, шероховатостью. Одним из недостатков при конструкторско-технологической подготовке производства является недостаточная научная обоснованность назначения и технологического обеспечения параметров шероховатости. Решение данной задачи возможно на основе зависимостей между характеристиками шероховатости и технологическими условиями обработки.

Отдельные элементы режима резания по-разному влияют на характеристики поверхностного слоя.

Машинное время обработки, вычисленное по формуле $t_0 = i\pi dl/vs$ в равной степени зависит от скорости резания v и подачи S при неизменных значениях длины l , диаметра d обрабатываемой поверхности и числа проходов i .

При выборе сочетаний элементов режима резания с целью обеспечения заданного качества поверхностного слоя это условие нарушается, поскольку на формирование поверхностного слоя, так же, как и на характеристики точности обработки, оказывают одновременное воздействие температура и сила резания. С точки зрения обеспечения благоприятных эксплуатационных свойств обрабатываемых материалов желательна обработка при оптимальной скорости резания v_0 , обеспечивающая при принятых значениях S и t температуру в зоне резания, при которой наблюдается минимальный износ режущего инструмента.

Как известно, в соответствии с ГОСТ 2789—73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики» установлено шесть параметров шероховатости. Термины и определения шероховатости поверхности по ГОСТ 25142—82 приведены ниже.

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a — среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины определится по формуле

$$R_a \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (1)$$

где n — число выбранных точек профиля в пределах базовой длины l ; y_i — отклонение профиля — расстояние между точкой профиля и базовой (средней) линией. Числовые значения R_a приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения Ra , мкм

100	80	63	50	40	32	25	20	16,0	12,5
10,0	8,0	6,3	5,0	4,0	3,2	2,5	2,0	1,60	1,25
1,00	0,80	0,63	0,50	0,40	0,32	0,25	0,20	0,160	0,125
0,100	0,080	0,063	0,050	0,040	0,032	0,025	0,020	0,016	0,012
0,010	0,008								

Примечание. Выделены значения предпочтительного применения.

Высота неровностей профиля по десяти точкам Rz — сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины, определяется по формуле

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 y_{pi} + \sum_{i=1}^5 y_{vi} \right) \quad (2)$$

где y_{pi} — высота i -го наибольшего выступа профиля, определяемая расстоянием от средней линии профиля m до высшей точки выступа профиля; y_{vi} — глубина i -й наибольшей впадины профиля, определяемая расстоянием от средней линии профиля до низшей точки впадины профиля.

Наибольшая высота неровностей профиля R_{max} — расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины. Числовые значения Rz и R_{max} приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения Rz и R_{max} , мкм

								1600	1250
1000	800	630	500	400	320	250	200	160	125
100	80	63	50	40	32	25,0	20,0	16,0	12,5
10,0	8,0	6,3	5,0	4,00	3,2	2,5	2,0	1,60	1,25
1,00	0,80	0,63	0,50	0,40	0,32	0,25	0,20	0,160	0,125
0,100	0,080	0,63	0,050	0,040	0,032	0,025			

Примечание. Выделены значения предпочтительного применения.

Средний шаг неровностей профиля S_m — среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины, определяется по формуле

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi} \quad (3)$$

где n — число шагов неровностей профиля; S_{mi} — i -й шаг неровностей профиля — отрезок средней линии профиля, содержащий неровность профиля.

Средний шаг местных выступов профиля S — среднее значение шагов местных выступов профиля, находящихся в пределах базовой длины определяется по формуле

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \quad (4)$$

где n — число шагов местных выступов; S_i — i -й шаг местных выступов профиля — отрезок средней линии между проекциями на нее наивысших точек соседних местных выступов профиля (см. рис. 1); числовые значения параметров S_m и S в соответствии с ГОСТ 2769–73 приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения S_m и S , мкм

									12,5
10,0	8,00	6,3	5,0	4,0	3,2	2,5	2,0	1,60	1,25
1,00	0,80	0,63	0,50	0,40	0,32	0,25	0,20	0,16	0,125
0,100	0,080	0,063	0,050	0,040	0,032	0,025	0,020	0,016	0,0125
0,010	0,008	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002			

Относительная опорная длина профиля tp — отношение опорной длины профиля к базовой длине:

$$tp = \frac{\eta_p}{l} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i \quad (5)$$

где η_p — опорная длина профиля равна сумме длин отрезков b_i , отсекаемых на заданном уровне p в материале профиля линией, эквидистантой средней линии в пределах базовой длины; p — уровень сечения профиля — расстояние между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля, выраженный в процентах от R_{\max} .

Высота микронеровностей на обработанной поверхности определяется по формулам А.И. Исаева, а также по известной теоретической формуле В.Л. Чебышева:

$$R_z = \frac{S^2}{8r} \quad (6)$$

где r — радиус при вершине резца в плане, мм.

Известные теоретические зависимости для определения высоты неровностей учитывают только геометрические параметры зоны резания. Однако если считать подачу, входящую в эти формулы, функцией толщины среза, то можно учитывать физико-

механические свойства обрабатываемого и инструментального материалов и режимы резания. Следовательно, в известные теоретические формулы для определения высоты неровностей, полученные из геометрических соображений, следует подставлять не S , а некоторое значение S_ϕ , полученное в виде функции от толщины среза. Таким образом, параметры шероховатости могут быть определены по следующим уточненным теоретическим зависимостям:

$$R_z = \frac{\sin \varphi \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} \left[(S_\phi - r) \left(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} \right) \right] \quad (7)$$

$$\text{если } \varphi_1 \leq \arcsin \frac{S}{2r}; \varphi \leq \arcsin \frac{S}{2r}$$

$$R_z = r(1 - \cos \varphi_1) + S_\phi \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 - \sin \varphi_1 \sqrt{S_\phi \sin \varphi_1 (2r - S_{TM} \sin \varphi_1)} \quad (8)$$

$$\text{если } \varphi \geq \arcsin \frac{S}{2r}; \varphi_1 \leq \arcsin \frac{S}{2r}$$

$$R_z = r(1 - \cos \varphi_1) + S_\phi \sin \varphi \cos \varphi - \sin \varphi \sqrt{S_\phi \sin \varphi (2r - S_{TM} \sin \varphi)} \quad (9)$$

$$\text{если } \varphi \leq \arcsin \frac{S}{2r}; \varphi_1 \geq \arcsin \frac{S}{2r}$$

$$R_z = \frac{S_\phi^2}{8r} \quad (10)$$

$$\text{если } \varphi \geq \arcsin \frac{S}{2r}; \varphi_1 \geq \arcsin \frac{S}{2r}$$

Значение S_ϕ определяется по формуле

$$S_\phi = \frac{1}{t\tau_p \left[1 + \frac{1}{B} + \operatorname{tg}(B - \gamma) \right]} \left[\frac{a_1^{0,125} b_1^{0,7} c \rho \theta \rho_1^{0,1} a^{0,43}}{v \lambda \sin^{0,165} \alpha} \right] \times \\ \times \left[2,85 \sin^{0,115} \alpha v^{0,57} a_1^{0,345} \lambda b^{0,3} + 0,6625 \lambda_p \beta \varepsilon a^{0,57} \rho_1^{0,075} \right] - 0,5 \tau_p \rho_1 b \times \\ \times \left[\arccos(1 - a_2 B^{-b_2(1-\sin)^{-x}}) + \frac{a_2 B^{1-b_2(1-\sin)^{-x}}}{\sin \alpha (\cos \gamma + B \sin \lambda)} + \frac{\delta}{\rho_1} \right] \cos \alpha \quad (11)$$

где φ и φ_1 — соответственно главный и вспомогательный углы резца в плане; r — радиус при вершине резца в плане; τ_p — сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу; $B = \operatorname{tg}\beta_1$ — величина, характеризующая степень пластических деформаций металла снимаемого припуска и поверхностного слоя обрабатываемой детали; β_1 — угол наклона условной плоскости сдвига; α и γ — соответственно задний и передний углы резца; a_1 и b_1 — соответственно толщина и ширина среза; c_p — удельная объемная теплоемкость обрабатываемого материала; θ — температура в зоне резания; ρ_1 — радиус округления режущей кромки резца; a — температуропроводность обрабатываемого материала; v и t — соответственно скорость и глубина резания; λ и λ_p — коэффициенты теплопроводности обрабатываемого и инструментального материалов; b — суммарная длина рабочей части режущих кромок; β и ε — соответственно угол заострения и угол при вершине резца в плане; a_2, b_2, x — величины, определяемые в зависимости от B ; δ — фаска износа по задней поверхности резца;

Физико-механические характеристики обрабатываемых материалов, необходимые для расчетов, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Физико-механические характеристики обрабатываемых материалов

Обрабатываемый материал	σ_B , МПа	σ_T , МПа	τ_p , МПа	$\theta_{пл}$, °С
ВТ9	1200	850	350	1700
ХН73МБТЮ	1200	800	800	1450
Л62	360	110	228	905
ЛС59-1	370	140	147	900
АК7ч	200	110	90	700
Д16Т	530	390	130	780
МА2-1	270	160	73	630
МЛ5	220	80	100	750

Формулы (7)—(11) устанавливают зависимость высоты неровностей обработанной поверхности от параметров, характеризующих процесс резания. Для конкретного сочетания обрабатываемого и инструментального материалов с общепринятой геометрией инструмента установлены упрощенные зависимости, учитывающие основные параметры процесса резания. Так, при чистовом точении, когда резание происходит только радиусной частью резца, высота неровностей может быть определена по формуле

$$R_z = \frac{cS^{X_1}}{r^{Y_1}\rho_1^{Z_1}}, \text{ мкм} \quad (12)$$

где S , мм/об; r , мм; ρ_1 , мкм; c, X_1, Y_1, Z_1 — константы, зависящие от сочетания обрабатываемого и инструментального материалов, а также от геометрии инструмента. При обработке резцом из ВК8 значения констант могут быть взяты из табл. 5.

Другие параметры шероховатости для условий лезвийной обработки могут быть выражены через Rz по известным зависимостям (табл. 6).

Таблица 5

Значения коэффициентов в формуле (12)

Обрабатываемый материал	c	X_1	Y_1	Z_1
BT9	4865	1,71	1,1	0,96
XH73МБТЮ	1016	1,42	1,0	0,85
Л62	608	1,58	1,04	0,95
ЛС59-1	123	1,64	0,94	0,93
АК7ч	242	1,37	0,95	0,79
Д16Т	82	1,23	1,07	1,07
МА2-1	125	2,04	1,54	1,44
МЛ5	146	1,66	1,25	1,05

Оптимальная скорость резания, при которой справедливо уравнение (12), может быть определена по следующей формуле:

$$V_0 = \frac{c_v}{S^{x_v}}, \quad (13)$$

где S — подача, мм/об.

Таблица 6

Взаимосвязь параметров шероховатости

Параметр шероховатости	Выражение через другие параметры
R_{\max}	$R_{\max} = 6R_a$
R_a	$R_a = 0,21R_z^{1,02}$
S_m	$S_m = 2\sqrt{Rz(2r - Rz)}npuS \leq 2r \sin \varphi_1$ $S_m = 2r \sin \left[\varphi_1 - \arctg \frac{r(1 - \cos \varphi_1) - 0,5Rz}{r \sin \varphi_1} \right] + Rz \operatorname{ctg} \varphi_1$ <p>при $2r \sin \varphi_1 \leq S \leq r \left[\frac{1 - \cos(\varphi + \varphi_1)}{\sin \varphi_1} \right]$</p> $S_m = \frac{2r(1 - \cos \varphi_1)}{\sin \varphi_1} + 0,5Rz(\operatorname{ctg} \varphi + 3 \operatorname{ctg} \varphi_1)$ <p>при $S \geq r \left[\frac{1 - \cos(\varphi + \varphi_1)}{\sin \varphi_1} \right]$</p>

Значения c_V и x_V при обработке резцом из ВК8, глубине резания $t = 1$ мм и заданных геометрических параметрах инструмента приведены в табл. 7.

Значения коэффициентов в формуле (13)

Обрабатываемый материал	C_V	X_V	Геометрические параметры резца
BT9	0,37	0,48	$\alpha=10^\circ; \gamma=0^\circ; \varphi=45^\circ; \varphi_1=15^\circ; r=1 \text{ мм}$
ХН73МБТЮ	0,35	0,38	$\alpha=12^\circ; \gamma=12^\circ; \varphi=45^\circ; \varphi_1=45^\circ; r=1 \text{ мм}$
Л62	1,65	0,45	$\alpha=10^\circ; \gamma=0^\circ; \varphi=45^\circ; \varphi_1=15^\circ; r=1 \text{ мм}$
ЛС59-1	0,58	0,67	$\alpha=10^\circ; \gamma=0^\circ; \varphi=45^\circ; \varphi_1=15^\circ; r=1 \text{ мм}$
АК7ч	4,00	0,40	$\alpha=10^\circ; \gamma=0^\circ; \varphi=45^\circ; \varphi_1=15^\circ; r=1 \text{ мм}$
Д16Т	3,29	0,31	$\alpha=10^\circ; \gamma=0^\circ; \varphi=45^\circ; \varphi_1=20^\circ; r=1 \text{ мм}$
МА2-1	3,30	0,38	$\alpha=10^\circ; \gamma=0^\circ; \varphi=45^\circ; \varphi_1=15^\circ; r=1 \text{ мм}$
МЛ5	3,10	0,42	$\alpha=10^\circ; \gamma=0^\circ; \varphi=45^\circ; \varphi_1=15^\circ; r=1 \text{ мм}$

Содержание самостоятельной работы

1. Для заданного преподавателем варианта (табл. 8) определить значения параметров шероховатости Rz , Ra , R_{\max} , Sm при токарной обработке резцом из ВК8 двух деталей из разных материалов. В расчетах принять $\rho = 30 \text{ мкм}$ и $r = 1 \text{ мм}$. Параметры шероховатости должны быть рассчитаны для каждого значения подачи.

2. Определить оптимальную скорость резания v_0 , при которой будет обеспечено получение данных значений параметров шероховатости.

3. Построить график зависимости оптимальной скорости резания v_0 от подачи S .

4. Построить график зависимости параметров шероховатости Rz , Ra , R_{\max} , Sm от подачи S .

5. Сделать выводы о влиянии режима резания и свойств обрабатываемых материалов на параметры шероховатости при механической обработке.

Варианты заданий для самостоятельной работы

Номер варианта	Обрабатываемый материал	Значение подач, мм/об
1	BT9 МА2-1	0,1; 0,15; 0,2; 0,25 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5
2	Л62 Д16Т	0,15; 0,2; 0,3; 0,4 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5
3	ЛС59-1 МА2-1	0,1; 0,2; 0,3; 0,4 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5
4	ЛС59-1 МА2-1	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5
5	ХН73МБТЮ (ЭИ698) Л62	0,1; 0,15; 0,2; 0,25 0,1; 0,2; 0,3; 0,4
6	BT9 ХН73МБТЮ (ЭИ698)	0,15; 0,2; 0,3; 0,4 0,1; 0,15; 0,2; 0,25

7	BT9 МЛ5	0,1;0,2;0,3;0,4;0,5 0,1;0,2;0,3;0,4;0,5
8	ХН73МБТЮ (ЭИ698) МА2-1	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4;
9	Л62 ЛС59-1	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,1;0,2;0,3;0,4;0,5
10	АК7ч Д16Г	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,1;0,2;0,3;0,4;0,5
11	ЛС59-1 АК7ч	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,1;0,2;0,3;0,4;0,5
12	BT9 АК7ч	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,1;0,2;0,3;0,4;0,5

Практическая работа № 2 ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Цель работы: получение представления о причинах возникновения погрешностей обработки и способах их расчета.

Под точностью обработки понимают степень соответствия изготовленной детали требованиям чертежа и технических условий.

Погрешность установки является одной из величин, составляющих общую погрешность обработки. Эта погрешность в общем случае определяется векторной суммой погрешностей базирования ε_{δ} и закрепления $\varepsilon_{\varepsilon}$:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{\delta} + \varepsilon_{\varepsilon}. \quad (1)$$

При обработке плоских поверхностей векторы погрешностей базирования и закрепления направлены в одну сторону, поэтому погрешность установки определяется по следующей формуле:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{\delta} + \varepsilon_{\varepsilon}. \quad (2)$$

При обработке тел вращения векторы погрешностей направлены под разными углами и погрешность установки можно принять по наиболее вероятному значению, равному

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_{\varepsilon}^2}, \quad (3)$$

Для оценки величин возникающих деформаций используют понятие жесткости. Жесткость j — способность системы противостоять действию силы. Наибольшую деформацию при обработке деталей точением вызывает радиальная составляющая силы резания P_y , поэтому

$$j = \frac{P_y}{y}, \quad (4)$$

где P_y — радиальная составляющая силы резания, Н; y — деформация элемента системы в направлении действия силы P_y , мм.

Основные узлы токарного станка модели 16К20 имеют примерно следующую жесткость: передняя бабка $j_{\text{пер}} 1 \cdot 10^5$ Н/мм, задняя бабка $j_{\text{зад}} 5 \cdot 10^4$ Н/мм, суппорт $j_c 75 \cdot 10^3$ Н/мм.

Расчет суммарной погрешности обработки состоит из трех этапов.

- Схематизация реальной операции с отбрасыванием всех факторов, которые не могут заметно повлиять на точность обработки по рассматриваемому параметру.
- Теоретический анализ операции для установления соотношений для расчета элементарных и суммарной погрешностей.
- Экспериментальная проверка полученных соотношений. Погрешности суммируют в зависимости от их вида (систематические или случайные) алгебраически (с учетом знака), арифметически (без учета знака) и по правилу квадратного корня.

Независимые случайные ошибки при симметричном законе распределения определяют по правилу квадратного корня:

$$\Delta = \sqrt{(\kappa_1 \Delta_1)^2 + (\kappa_2 \Delta_2)^2 + \dots + (\kappa_m \Delta_m)^2}, \quad (5)$$

где Δ — суммарная погрешность; $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_m$ — составляющие погрешности; $\kappa_1, \kappa_2, \dots, \kappa_m$ — коэффициенты, зависящие от вида кривых распределения отдельных погрешностей.

Если отдельные погрешности подчиняются одному закону распределения, то

$$\Delta = \kappa \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_m^2}, \quad (6)$$

В общем случае величина $\kappa = 1,0 \dots 1,73$.

При распределении погрешностей по нормальному закону (по кривой Гаусса) $\kappa = 1$. При анализе точности обработки на настроенных станках рекомендуется принимать $\kappa = 1,2$. Тогда суммарная погрешность определяется по формуле (6)

$$\Delta = 1,2 \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_m^2}, \quad (7)$$

Последовательность расчета элементарных и суммарной погрешностей обработки

Суммарную погрешность диаметрального размера цилиндрической поверхности следует определять по формуле

$$\Delta_{\Sigma Д} = 2\sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_n^2 + [1,73(\Delta_H + \Delta_{CT} + \Delta_T)]^2}, \quad (8)$$

где $\Delta_{Д}$ — суммарная погрешность обработки диаметрального размера; Δ_y — погрешность, возникающая за счет деформации элементов технологической системы под действием сил резания; Δ_H — погрешность настройки станка на заданный размер; Δ_H — погрешность, возникающая за счет размерного износа режущего инструмента; Δ_{CT} — погрешность, возникающая за счет геометрической неточности станка; Δ_T — погрешность, возникающая за счет температурных деформаций технологической системы.

Суммарная погрешность линейного размера, координирующего положение обрабатываемой поверхности относительно другой поверхности детали, определяется по формуле

$$\Delta_{\Sigma Л} = 2\sqrt{\Delta_{уст}^2 + \Delta_y^2 \Delta_n^2 + [1,73(\Delta_H + \Delta_{CT} + \Delta_T)]^2}, \quad (9)$$

где $\Delta_{Л}$ — суммарная погрешность линейного размера; $\Delta_{уст}$ — погрешность установки заготовок в приспособлении.

Погрешность установки заготовок в приспособлении.

Величина этой погрешности достаточно сложно поддается расчету, поскольку для его выполнения необходимо иметь чертеж детали, а также информацию о конструкции приспособления. При укрупненных расчетах данную погрешность можно брать из табл. 1 и 2.

Погрешность, возникающая за счет деформации элементов технологической системы под действием сил резания.

При обработке цилиндрических поверхностей увеличение диаметра обрабатываемой заготовки можно определить по формуле

$$\Delta_y = 2 \frac{P_y}{j}, \quad (10)$$

где P_y — радиальная составляющая силы резания, Н; j — жесткость технологической системы, Н/мм.

Величина P_y определяется по формуле

$$P_y = C_y S^{x_p} t^{y_p} \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^{n_p}, \quad (11)$$

где C_y, x_p, y_p, n_p — коэффициенты (при обработке сталей твердосплавными резцами можно принять $C_y = 100, x_p = 0,9, y_p = 0,6, n_p = 1,35$); S — подача, мм; t — глубина резания, мм; σ_B — предел прочности обрабатываемого материала, Па.

Жесткость технологической системы определяется по следующим формулам:

- при консольном закреплении заготовки в патроне токарного станка

$$\frac{1}{j} = \frac{0,66L^3}{Ed^4} + \frac{1}{10C_1D^x} + \frac{1}{10j_{np}}, \quad (12)$$

- при закреплении заготовки в патроне с поддержкой задним центром

Таблица 1

Погрешности установки заготовок в патронах и на оправках без выверки

Тип установочного патрона или оправки	Погрешности установки, мкм	
	для радиального направления	для осевого направления
Цилиндрические оправки с гайками (установка на оправку с зазором)	в пределах допуска и зазора	10
Патроны и оправки с упругими втулками и гидропластмассой	$l \leq d$	3...10
	$l > d$	10...20
Мембранные патроны	3...5	-

Примечание. l — длина патрона или оправки, мм; d — диаметр патрона или оправки, мм.

Таблица 2

Погрешности установки заготовок в трехкулачковом патроне без выверки

Метод обработки базовой поверхности заготовки	Направление смещения заготовки	Погрешности установки, мкм, при диапазоне базовой поверхности, мм			
		св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180
Прутки горячекатаные повышенной точности	радиальное	200	300	450	650
	осевое	130	200	300	420
Единичная заготовка со шлифованной базовой поверхностью	радиальное	20	30	40	
	осевое	10	15	25	
Прутки горячекатаные обычной точности	радиальное	280	400	500	800
	осевое	190	250	350	520
Единичная заготовка с чисто обработанной базовой поверхностью	радиальное	50	80	100	
	осевое	30	50	80	
Литье по выплавляемой модели; предварительно обработанная поверхность	радиальное	100	150	200	
	осевое	50	80	100	
Литье в постоянную форму; штамповка	радиальное	200	300	400	
	осевое	80	100	120	

$$\frac{1}{j} = \frac{L^3}{Ed^4} + \frac{1}{10C_1 D^x \left[L - l \left(\frac{C_2}{C_1} \right) \right]} + \frac{1}{10j_{np}}, \quad (13)$$

где L — длина обрабатываемой заготовки, мм; E — модуль упругости обрабатываемого материала (для сталей $E=20 \cdot 10^6$ Па);

D — наибольший диаметр заготовки, обработка которой возможна на данном станке, мм; l — расстояние от торца патрона до рассматриваемого поперечного сечения обрабатываемой заготовки, мм; j_{np} — жесткость станочного приспособления, Па; d — диаметр обрабатываемой заготовки, мм; C_1, C_2, x — коэффициенты, значения которых приведены в табл. 3.

Для ступенчатых валов вместо d следует принимать приведенный диаметр d_{np} , определяемый по формуле

$$d_{np} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 L_i}{L}}, \quad (14)$$

где d_i — диаметр i -й ступени вала, мм; L_i — длина i -й ступени вала, мм; n — количество ступеней вала.

Таблица 3

Значения коэффициентов C_1, C_2, x в формулах (12) и (13)

Тип станка	Степень точности	C_1	C_2	x
Токарные	Н	165	130	0,34
	П	220	180	
Токарно-револьверные	Н	260	212	0,44
	П	350	300	
Автоматы токарно-револьверные одношпиндельные прутковые	Н	124	110	0,37
	П	170	140	

Для станков с высотой центров 200... 250 мм при нагружении патрона на плече длиной 200 мм от переднего торца шпинделя станка жесткость навинчиваемого на шпиндель трехкулачкового патрона составляет 650...1600 Па, четырехкулачковый патрон с резьбовым креплением на станке с высотой центров 400 мм при нагружении на плече длиной 200 мм имеет жесткость 4100 Па, а такой же патрон с пальцевым креплением при нагружении на плече длиной 300 мм имеет жесткость 4550 Па.

При изменении длины плеча, на котором прикладывается сила, жесткость определяется по формуле

$$j_{np} = j_{напр} = j_{напр\max} \frac{R_{\min}^2}{R^2}, \quad (15)$$

где R_{\min} — длина плеча, указанная выше, мм; R — максимальный вылет заготовки в патроне (от торца шпинделя станка), мм.

Погрешность, возникающая за счет геометрической неточности станка

Эта погрешность приводит к появлению отклонений размеров, формы и пространственного расположения обработанных поверхностей. Так, при точении консольно закрепленной заготовки в результате отклонения от параллельности оси шпинделя относительно направляющих станины в горизонтальной плоскости возникает конусность и погрешность обработанной заготовки за счет геометрической неточности станка, которая определяется по формуле

$$\Delta_{cm} = \frac{C_m l_m}{L}, \quad (16)$$

где C_m — допустимое отклонение от параллельности оси шпинделя относительно направляющих станины в плоскости выдерживаемого размера на длине L , мм; l_m — длина обработанной поверхности, мм.

Значения C_m и L приведены в табл. 4.

Погрешности настройки станка на заданный размер

Ориентировочно величину погрешности Δ_H можно принять равной разности между предельными значениями установочного размера (табл. 5).

Погрешность, возникающая за счет размерного износа режущего инструмента

Часто не определяют размерный износ инструмента при обработке партии заготовок, а задаются его допустимой величиной для рассматриваемых производственных условий (табл. 6).

Погрешность, возникающая за счет температурных деформаций технологической системы

Аналогично рассмотренной выше погрешности от размерного износа инструмента, она не рассчитывается, а принимается для установившегося теплового режима обработки равной: при лезвийной обработке 10...15% от суммарной погрешности, при шлифовании 30...40% от суммарной погрешности обработки.

Таблица 4

Погрешности размеров и формы цилиндрических поверхностей, получаемых после чистовой обработки на металлорежущих станках

Токарные станки

Станки	Высота центров, мм	Допускаемые отклонения, мкм		
		Погрешность диаметров, мкм	Погрешность формы	
			Отклонение C_m , мкм	На длине L , мм
Полуавтоматы токарные многошпиндельные патронные горизонтальные	До 160	80	25	75
	Св. 160 до 250	100	30	100
Станки токарные многорезцовые полуавтоматические	До 200	–	16	100
	Св. 200 до 320	–	20	150
Станки токарные общего назначения	До 400	–	10	100
Станки токарные повышенной точности	До 500	–	10	300

Круглошлифовальные станки

Наибольший диаметр устанавливаемой заготовки, мм	Класс точности станка		
	П	В	А
	Погрешности формы (диаметра) в продольном направлении, мкм		
До 100	5,5	3,5	2
Св. 100 до 200	8	5	3
Св. 200 до 400	11	7	–

Таблица 5

Средние допускаемые погрешности настройки для лезвийных инструментов, мкм

Интервал выдерживаемых размеров, мм	Характер обработки			
	черновая	чистовая	тонкая	однократная
До 30	40...100	10	5	20
Св. 30 до 80	60...150	20	6	25
Св. 80 до 180	80...200	30	7	30
Св. 180 до 360	100...250	40	8	40

Таблица 6

Средние значения допустимого размерного износа, мкм, инструмента при обработке партии заготовок

Интервал выдерживаемых размеров, мм	Размерный износ при обработке, мкм			
	черновой	чистовой	тонкой	однократной
До 30	30...80	15	2	20
Св. 30 до 80	45...120	20	3	25
Св. 80 до 180	60...150	30	6	30
Св. 180 до 360	75...200	40	10	40

2. Последовательность выполнения работы

1. Определить расчетно-аналитическим методом погрешность, возникающую на технологической операции обработки в соответствии с вышеизложенным порядком расчета.

2. Определить допуск на размер на заданной операции по таблицам экономической точности обработки (табл. 7 и 8).

3. Сравнить величины допустимой погрешности обработки и расчетного значения погрешности обработки.

4. Сделать вывод о возможности достижения требуемой точности обработки на данной операции.

5. Оформить отчет о выполненной работе.

Таблица 7

Точность и качество поверхности при обработке наружных цилиндрических поверхностей

Вид обработки	Ra	Квалитет допуска размера	Технологические допуски при номинальных диаметрах поверхности, мкм							
			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
Точение черновое	50...	14	–	–	620	740	870	1000	1150	1300
	6,3	12	180	210	250	300	350	400	460	520
Точение получистовое или однократное	25...	12	180	210	250	300	350	400	460	520
	1,6	11	110	130	160	190	220	250	290	320
Точение чистовое	6,3...	10	70	84	100	120	140	160	185	210
	0,4	9	43	52	62	74	87	100	115	130
		8	27	33	39	46	57	63	72	81
Точение тонкое	1,6...	8	27	33	39	46	57	63	72	81
	0,2	7	18	21	25	30	35	40	46	52
		6	11	13	16	19	22	25	29	32
Шлифование предварительное	6,3...	8	27	33	39	46	57	63	72	81
Шлифование чистовое	3,2...	7	18	21	25	30	35	40	46	52
Шлифование тонкое	1,6...	6	11	13	16	19	22	25	29	32
	0,1	5	8	9	11	13	15	18	20	23

Таблица 8

Точность и шероховатость поверхности при обработке плоскостей

Вид обработки	Ra	Квалитет допуска размера	Технологические допуски, мкм, при расстоянии от базовой поверхности, мм					
			До 80	Св. 80 до 180	Св. 180 до 260	До 80	Св. 80 до 180	Св. 180 до 260
			до 160x160			св. 160x160 до 400x400		
Точение черное	50...6,3	12	300	400	460	300	400	460
Точение полукристальное или однократное	25...1,6	10	120	160	185	120	160	185
		9	74	100	115	—	—	—
Точение тонкое	25...1,6	8	46	63	72	46	63	72
		7	30	40	46	—	—	—
Шлифование	3,2...0,2	7	30	40	46	30	40	46
		6	19	25	29	—	—	—

Содержание самостоятельной работы

Для детали, представляющей собой ступенчатый валик, разработан маршрутный технологический процесс, представленный в табл. 10.

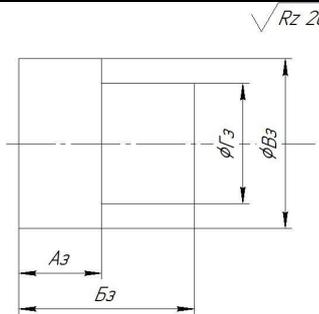
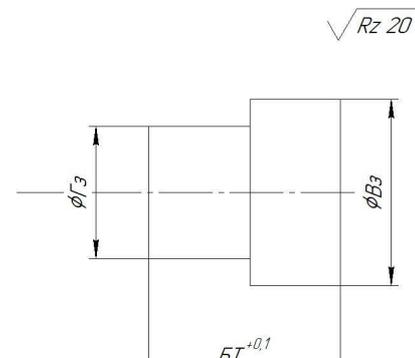
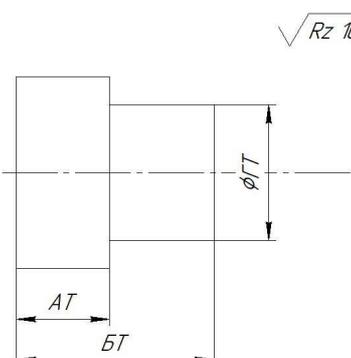
В соответствии с вариантом задания (табл. 11) рассчитать величины операционных допусков для токарных операций технологического процесса. Величины размеров для соответствующих вариантов простановки размеров приведены в табл. 9. При выполнении работы следует соблюдать последовательность, приведенную выше.

Таблица 9

Размеры заготовки, размеры для токарной операции и готовой детали

Размер	Номер варианта простановки раз-	1	2	3	4
Заготовка	<i>A</i>	46,1	59,5	56,3	43,1
	<i>B</i>	92,3	108	118	128
	<i>B</i>	90	95	115	130
	<i>Г</i>	58	63	61	65
Для токарной операции	<i>A</i>	45,24	58,3	55,3	42,24
	<i>B</i>	90	105	115	125
	<i>B</i>	85,4	90,4	110,5	125,5
	<i>Г</i>	55,4	60,4	58,4	62,4
Готовая деталь	<i>A</i>	45–0,039	58–	55–0,074	42–0,039
	<i>B</i>	90–0,35	0,046	115–0,54	125–0,4
	<i>B</i>	85–0,057	105–	110–0,057	125–0,063
	<i>Г</i>	55–0,046	0,22 90– 0,035	58–0,046	62–0,03

Технологический процесс изготовления детали

Номер и наименование операции	Состав операции	Операционный эскиз
000 Заготовительная	Штамповка Шероховатость поверхности $Rz = 160$ мкм	
005 Токарная	1. Обточить цилиндрическую поверхность. Режимы резания: $S=0,3$ мм/об; $t=1,5$ мм. 2. Подрезать торец	
010 Токарная	1. Обточить цилиндрическую поверхность. Режим резания: $S=0,2$ мм/об; $t=1,5$ мм 2. Подрезать торец	

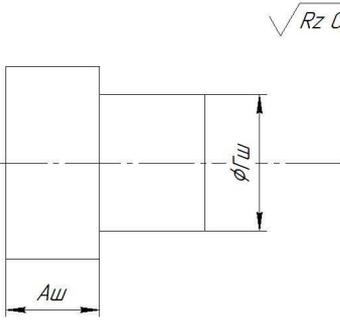
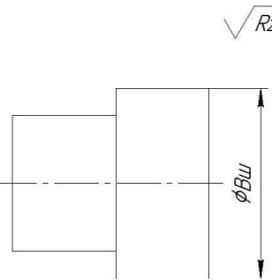
015 Шлифовальная	1. Шлифовать цилиндрическую поверхность. 2. Шлифовать торец	
020 Шлифовальная	1. Шлифовать цилиндрическую поверхность. 2. Шлифовать торец	

Таблица 11

Варианты заданий для самостоятельной работы

№ варианта	Вариант протановки размеров	Материал детали	σ_B , МПа	Станок	Степень точности станка	Установка заготовки
1	1	40Х	100	Т	Н	К
2	2	35	60	Т – Р	Н	Ц
3	3	40ХН	80	Т	Н	Ц
4	4	30ХГСА	110	Т – Р	П	К
5	1	38ХМЮА	105	Т	П	К
6	2	40Х	100	Т – Р	П	Ц
7	3	35	60	Т	Н	Ц
8	4	40ХН	80	Т – Р	Н	К
9	1	30ХГСА	110	Т	Н	К
10	2	38ХМЮА	105	Т – Р	П	Ц

Примечания

Станки

Т — токарный, высота центров 160 мм

Т – Р — токарно-револьверный, высота центров 250 мм

Степень точности станка

Н — нормальная

П — повышенная

Установка заготовки

К — консольно в трехкулачковом патроне

Ц — в трехкулачковом патроне с поддержкой задним центром

Пример расчета технологического допуска

Задан технологический процесс изготовления гладкого цилиндрического валика (табл. 12). Требуется рассчитать операционный допуск при обработке цилиндрической поверхности (операция 5), размер $d45,36$ мм.

Расчет элементарных погрешностей обработки

Погрешность установки заготовок в трехкулачковом патроне без выверки в радиальном направлении для прутка горячекатаного нормальной точности диаметром $48^{+0,4}_{-0,7}$ составляет 280 мкм (см. табл. 2).

Погрешность, возникающая за счет деформации элементов технологической системы под действием сил резания.

Величина радиальной составляющей силы резания по формуле (11) составляет

$$P_y = C_y S^{y_p} t^{x_p} \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^{n_p} = 100 \cdot 0,3^{0,6} \cdot 1,5^{0,9} \left(\frac{750}{750} \right)^{1,35} = 70 \text{ Н}$$

Жесткость трехкулачкового патрона на плече 95 мм по формуле (15) составляет:

$$j_{np} = j_{namp} = j_{namp \max} \frac{R_{\min}^2}{R^2} = 1000 \frac{200^2}{95^2} = 4432 \text{ Н / мм}$$

Жесткость технологической системы при консольном закреплении заготовки в патроне токарного станка по формуле (12):

$$\frac{1}{j} = \frac{0,66L^3}{Ed^4} + \frac{1}{10C_1D^x} + \frac{1}{10j_{np}} = \frac{0,66 \cdot 95^3}{20000 \cdot 48^4} + \frac{1}{10 \cdot 160 \cdot 400^{0,34}} + \frac{1}{10 \cdot 4432} = 0,00011 \text{ мм / Н}$$

Увеличение диаметра цилиндрической поверхности обрабатываемой заготовки:

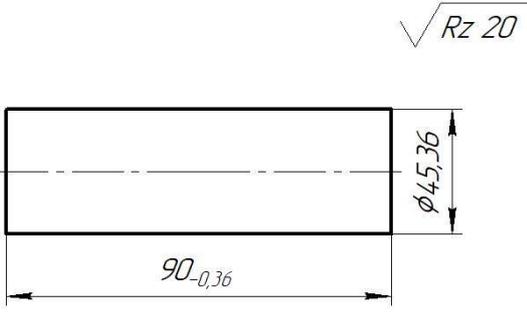
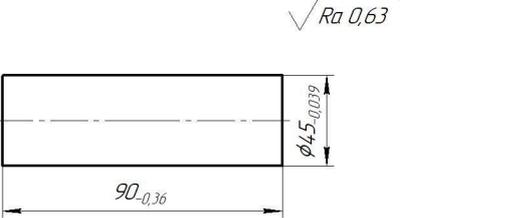
$$\Delta_y = 2 \frac{P_y}{j} = 2 \cdot 70 \cdot 0,00011 = 0,015 \text{ мм} = 15 \text{ мкм}$$

Погрешность, возникающая за счет геометрической неточности станка при точении консольно закрепленной заготовки на токарных станках общего назначения с высотой центров до 400 мм (табл. 4):

$$\Delta_{cm} = \frac{C_m l_m}{L} = \frac{10 \cdot 90}{100} = 9 \text{ мкм}$$

Погрешность настройки станка на заданный размер при однократном точении заготовок размером от 80 до 180 мм составляет 30 мкм (см. табл. 5).

Технологический процесс изготовления детали

Номер и наименование операции	Состав операции	Операционный эскиз
000 Заготовительная	Пруток горячекатаный нормальной точности диаметром $48^{+0,4}_{-0,7}$ мм, шероховатость поверхности $Rz = 160$ мкм, материал — сталь 45, $\sigma_B = 750$ МПа	
005 Токарная	1. Обточить цилиндрическую поверхность. Режим резания: $S=0,3$ мм/об; $t=1,5$ мм. 2. Подрезать торец. 3. Отрезать. Токарно-револьверный станок нормальной точности, высота центров 200 мм. Трехкулачковый патрон	
010 Шлифовальная	Шлифовать цилиндрическую поверхность	

Погрешность, возникающая за счет размерного износа режущего инструмента при однократном точении заготовок размером от 30 до 80 мм, составляет 25 мкм (табл. 6).

Расчет суммарной погрешности обработки

Без учета погрешности от температурных деформаций технологической системы

$$\Delta_{\Sigma d} = 2\sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_n^2 + [1,73(\Delta_H + \Delta_{CT} + \Delta_T)]^2} = 2\sqrt{15^2 + 30^2 + (1,73(30 + 9))^2} = 150 \text{ мкм}$$

Погрешность от температурных деформаций технологической системы

$$\Delta_T = 0,1 \cdot \Delta_{\Sigma d} = 0,1 \cdot 150 = 15 \text{ мкм}$$

Суммарная погрешность обработки

$$\Delta_{\Sigma d} = 2\sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_n^2 + [1,73(\Delta_H + \Delta_{CT} + \Delta_T)]^2} = 2\sqrt{15^2 + 30^2 + (1,73(30 + 9 + 15))^2} = 199 \text{ мкм}$$

Назначение величины операционного размера

Ближайшее большее стандартное поле допуска для размера 45,36 мм составляет 250 мкм (12-й квалитет). Получаем в результате d45,36_{-0,25} мм.

Назначение операционного допуска

Назначение операционного допуска выполняется укрупненно по имеющимся нормативам точности обработки в зависимости от принятых методов обработки и размеров детали (см. табл. 7) для получистового или однократного точения и дает величину 160 мкм (11 квалитет) или 250 мкм (12 квалитет). Очевидно, что если принять операционный допуск по 11 квалитету, то возникнут сложности с его обеспечением; если же операционный допуск назначить по 12 квалитету, возможности процесса будут использованы не до конца.

Анализ полученных результатов

В связи с тем что полученная суммарная погрешность

$\Delta_{\Sigma d} = 199$ мм меньше 250 мкм, можно расширить допуски на элементарные погрешности.

1. При увеличении подачи до 0,4 мм/об величина радиальной составляющей силы резания

$$P_y = C_y S^{yp} t^{xp} \left(\frac{\sigma_6}{750}\right)^{np} = 100 \cdot 0,4^{0,6} \cdot 1,5^{0,9} \left(\frac{750}{750}\right)^{1,35} = 83,1 \text{ Н}$$

Увеличение диаметра цилиндрической поверхности обрабатываемой заготовки при неизменной жесткости технологической системы составит

$$\Delta_y = 2 \frac{P_y}{j} = 2 \cdot 83,1 \cdot 0,00011 = 0,018 \text{ мм} = 18 \text{ мкм}$$

При увеличении подачи до 0,4 мм/об получаем следующую величину суммарной погрешности:

$$\Delta_{\Sigma d} = 2\sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_n^2 + [1,73(\Delta_H + \Delta_{CT} + \Delta_T)]^2} = 2\sqrt{18^2 + 30^2 + (1,73(30 + 9 + 15))^2} = 200 \text{ мкм}$$

2. При увеличении допустимой величины размерного износа инструмента до 30 мкм получаем следующую величину суммарной погрешности:

$$\Delta_{\Sigma d} = 2\sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_n^2 + [1,73(\Delta_H + \Delta_{CT} + \Delta_T)]^2} = 2\sqrt{18^2 + 30^2 + (1,73(40 + 9 + 15))^2} = 232 \text{ мкм}$$

Таким образом, применение расчетно-аналитического метода позволило назначить ту же величину операционного допуска (250 мкм) и значительно повысить производительность обработки за счет увеличения подачи с 0,3 до 0,4 мм/об и допуска на размерный износ инструмента с 30 до 40 мкм.

Практическая работа № 3

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО ПАРАМТРАМ ТОЧНОСТИ

Цель работы: определение возможности применения рассматриваемого технологического процесса для изготовления продукции с определенными параметрами качества; оценка изменения точностных характеристик технологических систем во времени и определение их соответствие требованиям, установленным в научно-технической документации.

Контроль точности технологических систем следует проводить по альтернативному или количественному признаку. При контроле по альтернативному признаку проверяют соответствие параметров технологического процесса и средств технологического оснащения требованиям, установленным в научно-технической документации. Этот контроль следует производить в следующих случаях в соответствии с ГОСТ 27.203-83[65]:

1. Разработка технологических процессов на этапе технологической подготовки производства;
2. Управление технологическими процессами.

Контроль точности технологических систем по количественному признаку производится:

1. Разработка технологических процессов на этапе технологической подготовки производства;
2. Выбор методов и планов статистического регулирования технологических процессов;
3. Замена, модернизация или ремонт средств технологического оснащения;
4. Совершенствование технологических систем в части повышения их надежности и качества изготовления продукции.

Для оценки надежности технологических систем по параметрам точности следует использовать расчетные, опытно-статистические методы, а также метод квалитетов по ГОСТ 27.202-83.

Из расчетных методов практически применяются:

1. Метод случайных функций, заключающийся в расчете характеристик изменения математического ожидания и дисперсии.

2. Метод элементарных погрешностей, основанный на расчете суммарной погрешности контролируемого параметра исходя из известных значений элементарных погрешностей.

Суммарная погрешность в этом случае:

$$\omega = \delta_{\Sigma} = K \sqrt{\lambda_1 \Delta_1^2 + \lambda_2 \Delta_2^2 + \dots + \lambda_n \Delta_n^2} \quad (1)$$

где $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_n$ – предельные значения элементарных погрешностей;

K – коэффициент риска;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$ – коэффициенты, учитывающие закон распределения элементарных погрешностей при равновероятном их выходе за обе границы поля допуска.

$$P = 100[1 - 2\Phi(K)]\% \quad (2)$$

где P – вероятный процент брака.

Значения коэффициента K может быть определено по табл. 1.

Таблица 1

Значение коэффициента K

$P, \%$	32	10	4,5	1	0,27	0,1	0,01
K	1	1,65	2	2,57	3	3,29	3,89

В технологических расчетах чаще всего принимается $P=0,27\%$ и $K=3,00$. Коэффициенты $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$ рассчитывают по ГОСТ 19415-75 при фактических данных о законе распределения коэффициенты $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$ равны 0,111.

Для обеспечения надежности технологических операций по точности необходимо, чтобы:

$$\delta_{\Sigma} = T, \quad (3)$$

где T – допуск на контролируемый параметр

Метод квалитетов основан на сравнении требуемых значений параметров технологической системы с их предельными возможными значениями, установленными в справочной и нормативно-технической документации.

Пример 1. Оценить точность токарной операции методом квалитетов. Исходные данные: операция выполняется на многошпиндельном прутковом горизонтальном автомате класса Н, заготовка пруток из автоматной стали 30мм, $\Delta_{и}$ – максимальное возможное смещение режущей кромки резца 12 мкм. Допуск на обработку 28h10 равен 84 мкм.

По ГОСТ 8831-79 находим, что допуск на диаметр образца-изделия по диаметру в поперечном сечении равен 80 мкм.

$$\delta_{\Sigma} = \Delta_{обр} + 2\Delta_U, \text{ мкм} \quad (4)$$

где

$\Delta_{обр}$ – допуск на диаметр образца-изделия;

Δ_U – максимальное возможное смещение режущей кромки резца

$$\delta_{\Sigma} = 80 + 2 \cdot 12 = 104 \text{ мкм}$$

Сравнивая величину δ_{Σ} с допуском на обработку контролируемого параметра 28h10, делаем вывод о том, что точность рассматриваемой операции δ_{Σ} следует считать неудовлетворительной.

Опытно-статистические методы основаны на использовании данных измерений параметров качества изделий, полученных в результате специального выборочного обследования и испытаний технологической системы и ее элементов. Они основаны на расчете \bar{x} , S, их доверительных интервалов с последующим определением критерия согласия Пирсона χ^2 , определяющим достоверность выбранного закона распределения.

При контроле по количественному признаку определяют следующие показатели точности технологических систем:

1. Коэффициент точности (по контролируемому параметру)

$$K_T = \frac{\omega}{T}, \quad (5)$$

где ω – поле рассеяния или разность максимального и минимального значений контролируемого параметра за установленную наработку технологической системы, определяемое с доверительной вероятностью по выражению:

$$\omega = l(\gamma) \cdot S, \quad (6)$$

$l(\gamma)$ – коэффициент, зависящий от закона распределения контролируемого параметра и величины γ (коэффициент риска).

При $\gamma = 0,9973$ (нормальный закон)

$$\omega = 6 \cdot S, \quad (7)$$

где S – среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра;
T – допуск на контролируемый параметр.

$$K_T = K_{T.O.} \leq 1, \quad (8)$$

где $K_{T.O.}$ – нормативное (предельное), технически обоснованное значение $K_{T.O.}$.

2. Коэффициент мгновенного рассеяния

$$K_P(t) = \frac{\omega(t)}{T}, \quad (9)$$

где $\omega(t)$ – поле рассеяния контролируемого параметра в момент времени t (относится к мгновенной выборке).

3. Коэффициент смещения (контролируемого параметра)

$$K_C = \frac{\Delta(t)}{T}, \quad (10)$$

где $\Delta(t)$ – среднее значение отклонения контролируемого параметра относительно середины поля допуска в момент времени t :

$$\Delta(t) = |x(t) - x_0|, \quad (11)$$

где $x(t)$ - среднее значение контролируемого параметра
 x_0 – значение параметра, соответствующее середине поля допуска (при симметричном поле допуска x_0 совпадает с номинальным значением $x_{НОМ}$)

4. Коэффициент запаса точности

$$K_3(t) = 0,5 - K_C(t) - 0,5K_P(t), \quad (12)$$

Величина $K_3(t)$ должна быть больше 0.

Пример 2. Определить величину $K_3(t)$ при следующих исходных данных: контролируемый размер $40 \pm 0,1$ мм; $T=0,2$ мм; $\omega(t)=0,12$ мм; $x(t)=40,05$ мм.

$$\Delta(t) = |x(t) - x_0| = 40,05 - 40 = 0,05 \text{ мм}$$

$$K_P(t) = \frac{\omega(t)}{T} = \frac{0,12}{0,2} = 0,6$$

$$K_C = \frac{\Delta(t)}{T} = \frac{0,05}{0,2} = 0,25$$

$$K_3(t) = 0,5 - K_C(t) - 0,5K_P(t) = 0,5 - 0,25 - 0,3 = -0,05$$

Так как величина $K_3(t) \leq 0$, то в данном случае отсутствует запас точности по контролируемому параметру.

Содержание самостоятельной работы

Варианты задания приведены в табл. 2, 3, 4.

На основании исходных данных требуется рассчитать величины K_T и $K_3(t)$, сделать заключение о точности выполнения операции.

Оценка надежности технологических систем по параметрам точности.

1. Определить коэффициент K_T операции обработки корпусной заготовки на вертикально-фрезерном станке торцевой фрезой (табл. 2).

Таблица 2

Исходные данные	Номера вариантов				
	1	2	3	4	5
Геометрическая погрешность станка	40	30	35	45	50
Погрешность базирования	60	0	50	45	65
Погрешность закрепления	30	20	35	15	40
Погрешность изготовления приспособления	30	20	15	25	10
Погрешность изготовления инструмента	5	0	10	0	15
Погрешность настройки фрезы на размер	50	40	20	15	30
Погрешность, связанная с размерным износом инструмента	15	0	5	20	10
Погрешность измерений	100	90	60	40	50
Погрешность, вызванная упругими деформациями под действием сил резания	40	30	25	35	20
Допуск на контролируемый параметр	330	200	150	250	50
Принимаемый риск, P, %	1	0,27	0,10	1	0,27

Распределение элементарных погрешностей близко к распределению Гаусса.

2. Определить величину $K_3(t)$ (табл. 3).

Таблица 3

Исходные данные	Номера вариантов				
	1	2	3	4	5
Контролируемый размер	40±0,08	50 ^{+0,039}	75 ^{-0,46}	100 ^{+0,22}	150 ^{+0,4}
Величина допуска	0,16	0,39	0,46	0,22	0,4
Среднее значение контролируемого размера, $x(t)$	40,5	50,3	74,7	100,1	150,3
Поле рассеяния $\omega(t)$ контролируемого параметра в момент времени t	0,12	0,1	0,1	0,08	0,06

Таблица 4

№ варианта	Наименование и норма точности станка	Диаметр заготовки, $D_{\text{заг}}$, мм	Допуск диаметра образца $\Delta_{\text{обр}}$, мкм	Максимально возможное смещение резца Δ_m , мкм	Допуск на обработку T , мкм
1	Автомат токарно-револьверный одношпиндельный прутковый (Н)	d35	25	15	d32h9 62мкм
2	Автомат токарный продольный (П)	d20	16	10	d18h8 27мкм
3	Автомат токарный многошпиндельный прутковый горизонтальный (Н)	d50	80	12	d45h10 100мкм
4	Полуавтомат токарный многошпиндельный патронный горизонтальный (П)	d100	40	15	d95h9 87мкм
5	Полуавтомат токарный многошпиндельный патронный вертикальный (Н)	d300	100	20	d295h11 320мкм

Для таблицы 2:

1. На основании исходных данных определить величину суммарной погрешности контролируемого параметра (поле рассеяния $\delta_{\Sigma}(\omega)$).
2. По найденной величине $\delta_{\Sigma}(\omega)$ и заданному допуску на контролируемый размер T рассчитать коэффициент точности K_T .
3. Проанализировать полученные результаты и сделать заключение о точности операции по величине коэффициент точности K_T .

Для таблицы 3:

1. На основании значений $x(t)$ и x_0 определить величину $\Delta(t)$.
2. По величинам $\Delta(t)$ и T рассчитать коэффициент смещения $K_c(t)$.
3. На основании значений $\omega(t)$ и T определить коэффициент мгновенного рассеяния $K_p(t)$.
4. По величине $K_c(t)$ и $K_p(t)$ определить коэффициент запаса точности $K_3(t)$.
5. Проанализировать полученный результат и сделать заключение о точности операции по величине $K_3(t)$.

Для таблицы 4:

1. Определить суммарную погрешность обработки $\delta_{\Sigma}(\omega)$ с учетом допуска диаметра образца и максимального возможного смещения резца.
2. По величине δ_{Σ} и заданному допуску T рассчитать коэффициент точности K_T .
3. По величине K_T сделать заключение о точности данной операции.

Практическая работа № 4 РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Цель работы: рассчитать точность выполнения операции технологического процесса и путем сопоставления ее с заданной точностью обработки сделать вывод о возможности ее обеспечения в заданных условиях.

Величина суммарной погрешности обработки по диаметральным и продольным размерам в общем виде в массовом производстве определяется по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{И} + \sqrt{\Delta_{СЛ}^2 + \Delta_{Н}^2 + \varepsilon_{У}^2}, \quad (1)$$

а в серийном

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{И} + \Delta_{Н} + \sqrt{\Delta_{СЛ}^2 + \varepsilon_{У}^2}, \quad (2)$$

где $\Delta_{И}$ – погрешность, обусловленная износом режущего инструмента; $\Delta_{И}$ – поле рассеяния погрешностей обработки, обусловленных такими технологическими факторами случайного характера, как неравномерность припуска, неодинаковая твердость материала заготовки, недостаточная жесткость системы СПИД, а также погрешность формы детали. Эту величину называют мгновенным полем рассеяния погрешности обработки; $\Delta_{Н}$ – погрешность настройки станка, мкм; $\varepsilon_{У}$ – погрешность установки заготовки, мкм.

Погрешность, обусловленная износом режущего инструмента, рассчитывается по следующим формулам:

при односторонней обработке

$$\Delta_{И} = \frac{U_0 \cdot l}{1000}, \quad (3)$$

при двухсторонней обработке

$$\Delta_{И} = \frac{2U_0 \cdot l}{1000}, \quad (4)$$

где U_0 – относительный износ инструмента, мкм/мм; l – путь резания, м.

Величина относительного размерного износа инструмента для принятых видов обработки выбирается по табл. 5 и 6.

С помощью табл. 6 рекомендуется определять величину относительного износа инструмента при фрезеровании по формуле:

$$U_{0.фр} = \left(1 + \frac{100}{B}\right) U_0, \quad (5)$$

где B – ширина фрезерования, мм.

Относительный износ разверток составляет 0,005 – 0,008 мкм/км.

Путь резания рассчитывается по формулам:

при точении

$$l = \frac{\pi \cdot d \cdot L \cdot n}{1000 \cdot S_{np}}, \quad (6)$$

при торцевом фрезеровании

$$l = \frac{L \cdot B \cdot n}{1000 \cdot S_{np}}, \quad (7)$$

при круговом и бесцентровом шлифовании с поперечной подачей

$$l = \frac{\pi \cdot D_{ш.к.} \cdot n_{ш.к.} \cdot t \cdot n \cdot k}{1000 \cdot n_d \cdot S_{поп}}, \quad (8)$$

при сверлении, зенкерования и развертывании

$$l = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot n}{1000 \cdot S_{np}}, \quad (9)$$

где D – диаметр обрабатываемой поверхности, мм; L – расчетная длина обработки с учетом пути врезания и перебега режущего инструмента, мм; n – количество деталей в настроечной партии, обрабатываемой в период между подналадками станка; S_{np} – продольная подача инструмента или детали, мм/об; B – ширина фрезерования или шлифования, мм, мм/об; $D_{ш.к.}$ – диаметр шлифовального круга, мм; $n_{ш.к.}$ – число оборотов шлифовального круга в минуту; t – припуск на сторону, мм; K – коэффициент на вывод искры, $K = 1,1 - 1,3$; n_d – число оборотов деталей в минуту; $S_{поп}$ – поперечная подача на один двойной ход, мм.

Погрешность динамической настройки определяется по формуле

$$\Delta_{н.д.} = \sqrt{\Delta_{см}^2 + \Delta_{рег}^2 + \Delta_{изм}^2}, \quad (10)$$

$\Delta_{см}$ – смещение центра группирования размеров пробных деталей относительно середины поля рассеяния размеров, мкм.

$$\Delta_{см} = \frac{\Delta_{сл.}}{\sqrt{m}}, \quad (11)$$

где m – количество пробных деталей.

Значение мгновенной погрешности обработки $\Delta_{сл}$ рекомендуется определять по табл. 7–10.

$\Delta_{рег}$ – погрешность регулирования положения режущего инструмента, зависящая от применяемого способа регулирования и определяемая по табл. 12.

$\Delta_{изм}$ – погрешность измерения, равная предельной погрешности используемого измерительного инструмента и определяемая по табл. 13.

При обработке деталей в специальных приспособлениях на фрезерных станках фреза устанавливается с помощью щупа по эталону.

В том случае погрешность настройки

$$\Delta_H = \sqrt{\Delta_{Э}^2 + \Delta_{Щ}^2 + \Delta_{уст.ин.}^2}, \quad (12)$$

где $\Delta_{Э}$ и $\Delta_{Щ}$ – погрешность изготовления соответственно эталона и щупа; $\Delta_{уст.ин.}$ – точность установки фрезы по щупу.

Значение $\Delta_{уст.ин.}$ при установке его с помощью металлического щупа принимается 7 – 10 мкм.

Фрезерные эталоны (установы) принимаются высотой $H=8 - 12$ мм с точностью изготовления по Н7, $\Delta_{Э} = 18$ мкм, щупы принимаются плоские $b = 1; 3; 5$ мм с точностью изготовления по Н7, $\Delta_{Щ} = 10$ мкм.

При использовании мерного режущего инструмента (сверл, зенкеров, разверток и т.д.)

$$\Delta_H = \sqrt{\Delta_{ин}^2 + \Delta_{у.и.}^2}, \quad (13)$$

где $\Delta_{ин}$ – погрешность изготовления инструмента, равная допуску на его изготовление по исполнительному размеру и определяемая по табл. 11.

$\Delta_{у.и.} = 0$, так как закрепление развертки плавающее.

Погрешность установки в центрах $\varepsilon_y = 0$. Такая же она и при плавающем закреплении развертки. При фрезеровании плоскостей $\varepsilon_y = \varepsilon_B + \varepsilon_3$.

В случае совмещения установочной и измерительной баз погрешность базирования $\varepsilon_B = 0$.

Погрешность закрепления ε_3 определяется по табл. 14.

Содержание самостоятельной работы.

1. Варианты задания приведены в табл. 1-4. Требуется рассчитать суммарную погрешность обработки, сравнить ее с требуемой точностью и

сделать заключение о возможности ее обеспечения. Исходные данные, необходимые для расчета - Δ_{Σ} . Расчет величин: $\Delta_{И}$, $\Delta_{сл}$, $\Delta_{н}$, ϵ_{y} , δ .

2. Определить точность чистового обтачивания цилиндрической ступени вала на токарном станке. Способ установки – в центрах. Настройка – динамическая по пробным деталям. Измерение деталей – с помощью микрометра, регулирование размеров – по лимбу станка. Количество пробных деталей $m = 5$. Исходные данные в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные	Номера вариантов		
	1	2	3
Диаметр обработки, мм	d45h10 _(-0,1)	d70h9 _(-0,074)	d90h11 _(-0,22)
Расчетная длина обработки L, мм	150	200	250
Величина настроечной партии, шт	50	60	80
Материал детали	Сталь 45	Сталь 25ХГТ	Серый чугун СЧ15
Жесткость станка γ (кгс/мм) 10Н/мм	500	800	1200
Материал режущей части резца	T15K6	T60K6	BK6
Подача $S_{прод}$, мм/об	0,15	0,2	0,25
Величина P_v (кгс), 10Н	8	12	10
Класс точности микрометра	0	1	2
Цена деления лимба станка, мм	0,02	0,05	0,01

3. Определить точность чистового фрезерования плоскости торцевой фрезой. Настройка на размер – по установкам приспособления. Деталь установлена на пластины по чисто обработанной поверхности в приспособлении с пневматическим зажимом; установочная плоскость является также измерительной базой. Исходные данные в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные	Номера вариантов		
	1	2	3
Размер обработки, мм	60h9 _(-0,074)	70h10 _(-0,12)	90h10 _(-0,14)
Расчетная длина обработки L, мм	200	250	300
Ширина фрезерования B, мм	60	90	120
Величина партии деталей, шт	50	80	100
Материал детали	Сталь 45	Сталь 25ХГТ	Серый чугун СЧ15
Жесткость станка γ (кгс/мм) 10Н/мм	900	600	1400
Подача S, мм/об	0,15	0,25	0,3
Материал режущей части резца	T15K6	T30K4	BK3
Величина P_v (кгс), 10Н	14,5	16,5	20,5

4. Определить точность шлифования ступени вала на круглошлифовальном станке. Настройка – динамическая по пробным деталям. Измерение настроечных деталей – с помощью миниметра, регулирование размера при настройке – по лимбу станка. Деталь установлена в центрах, круг шлифовальный – 24А. Количество пробных деталей $m = 5$. Исходные данные в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные	Номера вариантов		
	1	2	3
Диаметр обработки, мм	d55h6 _(-0,19)	d90h7 _(-0,035)	d110h8 _(-0,054)
Величина настроечной партии, шт	50	120	150
Материал детали	Сталь 45	Чугун закал.	Цвет. сплав
Поперечная подача $S_{\text{поп}}$, мм/об	0,005	0,008	0,010
Число оборотов круга $\Pi_{\text{ш.к.}}$, об/мин	2500	3000	3500
Диаметр круга $D_{\text{ш.к.}}$, мм	200	250	300
Число оборотов детали n_d , об/мин	250	300	350
Цена деления и точность миниметра	1 мкм, 1 кл.	2 мкм, 2 кл.	5 мкм, 3 кл.
Цена деления лимба станка, мм	0,01	0,02	0,05
Припуск на сторону t , мм	0,15	0,18	0,2

5. Определить точность развертывания отверстий разверткой с плавающим креплением. Настройка – динамическая по пробным деталям. Исходные данные в табл. 4.

Таблица 4

Исходные данные	Номера вариантов		
	1	2	3
Диаметр отверстия, мм	d8H7 ^(+0,015)	d8H8 ^(+0,018)	d320H7 ^(+0,025)
Длина обработки L , мм	30	35	25
Величина настроечной партии, шт	70	60	80
Продольная подача $S_{\text{прод}}$, мм/об	0,9	1,0	0,7
Вид развертывания	Однократное	Двукратное	Однократное

Таблица 5

Значение U_0 при чистовой обработке, мкм/км

Материал режущего инструмента	Обрабатываемый материал			
	Углеродистая сталь	Легированная сталь	Серый чугун	Чугун, 375-400 НВ
T60K6	2-4	2-4	-	-
T30K4	3-4	4-6	-	-
T15K6	5-7	9-10	-	-
T5K10	8	12-13	-	-
BK9	-	65	-	-
BK8	-	17-25	13-14	-
BK6	-	-	14	-
BK4	-	9-10	6	16
BK2	-	-	4-26	12
ЦМ-332	0,5-1,0	1-6	-	9

Таблица 6

Значение U_0 шлифовального круга, мкм/км.

Материал			U_0
Детали	Круга керамического		
Сталь 45	14А, 24А		0,03
Чугун закаленный	14А, 24А		0,04
Сплавы цветных металлов	14А, 24А		0,01

Таблица 7

Значение $\Delta_{сл}$ на круглошлифовальных станках, мкм

Размеры, мм	Жесткость системы (кгс/мм), 10 Н/мм		
	700-1200	1200-2000	2000-3000
10-18	12	9	6
18-30	14	11	8
30-50	16	13	10
50-80	18	15	12
80-120	20	17	14

Таблица 8

Значения мгновенной погрешности обработки $\Delta_{сл}$ на токарных станках, мкм

Размеры, мм	Сила P_y (кгс), 10Н	Жесткость системы (кгс/мм), 10 Н/мм		
		400-600	600-1000	1000-15000
10-18	5-10	37	23	16
	10-15	38	24	17
18-30	5-10	40	26	17
	10-15	41	27	18
30-50	5-10	43	29	18
	10-15	44	30	19
50-80	5-10	46	32	19
	10-15	47	33	20
80-100	5-10	49	35	20

Таблица 9

Значения мгновенной погрешности обработки $\Delta_{сл}$ на фрезерных станках, мкм

Размеры, мм	Сила P_y (кгс), 10Н	Жесткость системы (кгс/мм), 10 Н/мм		
		400-700	700-1000	1000-1500
6-10	5-15	64	46	24
	св. 15	66	48	26
10-18	5-15	70	52	30
	св. 15	72	54	32
18-30	5-15	76	58	36
	св. 15	78	60	38
30-50	5-15	82	64	42
	св. 15	84	66	44
50-80	5-15	88	70	48
	св. 15	90	72	50
80-120	5-15	94	76	54
	св. 15	96	78	56

Таблица 10

Значения мгновенной погрешности обработки $\Delta_{сл}$ при развертывании, мкм

Вид развертывания	Диаметр отверстия, мм			
	3-6	6-10	10-18	18-30
Однократное	25	30	35	35
Двукратное	13	14	15	16

Таблица 11

Точность изготовления разверток $\Delta_{ин}$ при развертывании, мкм

Номинальные диаметры инструмента, мм	Квалитет точности		
	7	8	8, 9
3-6	4	5	8
6-10	5	6	9
10-18	6	8	11
18-30	8	9	13
30-50	10	11	16

Таблица 12

Погрешность регулирования $\Delta_{рег}$ инструмента по лимбу станка, мкм

Цена деления лимба, мм	На сторону	На диаметр
0,01	5-10	10-20
0,02	10-15	20-30
0,05	15-30	30-60
0,1-0,5	30-70	-

Таблица 13

Предельные погрешности методов измерения длин

Наименование инструментов	Класс точности	Предельные погрешности (\pm), мм		
		Интервалы размеров, мм		
		1-10	50-80	300-500
Миниметр с ценой деления 0,01 мм	0	0,5	0,8	1,8
	1	0,6	1	3
	2	0,7	1,4	4,5
	3	1	2	8
Миниметр с ценой деления 0,001 мм	1	1	1,4	3,5
	2	1,2	1,8	5
	3	1,4	2,5	8
Миниметр с ценой деления 0,005 мм	2	2	2,5	5
	3	2,2	3	8,5
	1	7	9	25
	2	12	14	35
Микрометр	0	4,5	6	15
	1	7	9	25
	2	12	14	35

Погрешности закрепления заготовок ε_3 при установке на опорные пластинки приспособлений по чисто обработанной поверхности в приспособлении с пневмозажимом

Поперечные размеры заготовки, мм	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-220	220-360	360-500
ε_3 , мкм	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безъязычный В.Ф. Обеспечение показателей качества поверхностного слоя деталей ГТД и их влияние на эксплуатационные свойства: Учебное пособие. Рыбинск: ОАО «НПО «Сатурн», 2004. 314 с.
2. ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
3. Корсаков В.С. Точность механической обработки. М.: Машиностроение, 1961. 380 с.
4. Дальский А.М. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т. 1 / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, А.Г. Косилова и др.; под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. М.: Машиностроение, 2001. 912 с.
5. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя: В 3 т./ под ред. И.Н. Жестковой. Т. 1 / В.И. Анурьев. М.: Машиностроение, 2006. 782 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Практическая работа № 1.....	3
Практическая работа № 2.....	10
Практическая работа № 3.....	24
Практическая работа № 4.....	30
Библиографический список.....	37

**МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ
для студентов направления 15.04.01 «Машиностроение»
(программа магистерской подготовки «Обеспечение качественно-точных
характеристик при изготовлении изделий в автоматизированном
машиностроительном производстве»)
всех форм обучения

Составители:

Симонова Юлия Эдуардовна
Краснова Марина Николаевна

В авторской редакции

Подписано к изданию 08.11.2021.

Уч.-изд. л. 2,4.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14