

**МПС РОССИИ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

29/7/4

Одобрено кафедрой
“Железнодорожный путь,
машины и оборудование”

**ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
И ПРОИЗВОДСТВО
ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ
МАШИН**

Руководство к выполнению
лабораторных работ
для студентов IV курса

специальности

**170900. ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ,
ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ (СМ)**

Часть I



© Российский государственный открытый технический
университет путей сообщения, 1999

Лабораторные работы по дисциплине "Технология машиностроения и производство подъемно-транспортных машин" состоят из двух частей:

- 1) технология машиностроения;
- 2) технология ремонта машин.

Выполнение лабораторных работ позволит студентам более глубоко изучить теоретическую часть курса, закрепить знания и приобрести некоторые навыки, необходимые при проведении научно-исследовательских работ.

Лабораторные работы проводятся под руководством преподавателя. Перед проведением каждого занятия преподаватель инструктирует студентов о правилах техники безопасности и охраны труда, которые они обязаны выполнять при проведении данной работы.

Руководство подготовлено на основе лабораторных работ, изданных в 1980 г. (авт. А.Г. Иванов).

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТ

Правила выполнения работ в лаборатории

1. Лабораторные работы выполняют группы, состоящие из двух-трех человек. На некоторых установках и стендах допускается работа двух групп одновременно.

2. Каждый студент должен подготовиться к выполнению работы, изучить задание, занести в рабочую тетрадь схему прибора, эскиз детали и заготовить таблицы по форме, приведенной в описании.

3. Перед началом работы преподаватель проводит краткое собеседование по содержанию работы. Недостаточно подготовленные студенты к занятиям не допускаются.

4. Студенты, допущенные к работе, получают у лаборанта необходимые приборы, детали, технологическую документацию и

т. п. Каждый студент работает на строго закрепленным за ним месте. Переставлять приборы с одного рабочего места на другое без разрешения преподавателя запрещается.

5. Включать станки, приборы и другое оборудование можно только после подробного ознакомления с их устройством и с разрешения преподавателя.

6. При выполнении работы следует придерживаться последовательности, указанной в описании лабораторной работы. Перед включением установки положение всех регуляторов должно соответствовать минимальным значениям регулируемых величин (напряжение, частота вращения и т.п.)

7. По окончании работы каждый студент должен представить преподавателю протокольные записи в тетради для лабораторных работ; преподаватель проверяет полученные результаты и подписывает работу. Только в этом случае работа считается законченной. Студенты сдают лаборанту полученные от него приборы и приводят рабочее место в надлежащий порядок.

8. К следующему очередному занятию студенты представляют письменный отчет о выполненной работе.

Правила составления отчета

1. Отчет по работе выполняют чернилами в тетради для лабораторных работ. На обложке должны быть указаны фамилия, имя, отчество студента, шифр группы. В отчете необходимо привести следующие данные: дату выполнения работы; номер и название работы; перечень использованных приборов, материалов, оборудования, технических документов; краткую теоретическую часть с расчетными формулами; схемы, таблицы измеренных и вычисленных величин; результаты испытаний; их анализ, а также выводы по работе.

2. График необходимо строить на клетчатой или миллиметровой бумаге. Ноль каждой оси координат, как правило, должен находиться в точке пересечения осей, а масштабы шкал осей должны быть выбраны так, чтобы размеры осей были в пределах от 10 до 15 см.

3. Независимые переменные следует откладывать по горизонтальной оси; а зависимые - по вертикальной. Полученные значения наносят на график в виде точек, через которые затем по лекалу проводят кривые. В некоторых (особых) случаях точки на графике соединяют прямыми линиями, образуя ломаную линию (например, полигон распределения в лабораторных работах № 1 и 2).

Техника безопасности при проведении лабораторных работ

Перед началом цикла лабораторных работ студенты должны ознакомиться с настоящими правилами и противопожарными правилами и требованиями данной лаборатории.

При выполнении лабораторных работ приходится работать с электрическими машинами, аппаратами, установками, электроизмерительными приборами и другими элементами цепи, находящимися под напряжением. При их эксплуатации необходимо строго соблюдать следующие правила техники безопасности:

1. Лабораторную работу надо выполнять только на исправном стенде (установке).

2. На одном стенде одновременно должны работать не менее двух человек.

3. Перед началом работы на стенде необходимо убедиться, что все выключатели стенда находятся в положении "Выключено".

4. Перед началом работы путем осмотра необходимо убедиться в надежном закреплении испытуемых узлов и агрегатов (генератор, прерыватель-распределитель и др.) и наличии защитных экранов на высоковольтных разрядниках. Об обнаруженных неисправностях или нарушениях правил техники безопасности следует сообщить преподавателю или лаборанту.

5. Категорически запрещается включать стенд без разрешения преподавателя.

6. При проведении лабораторных работ на стенде все переключения и регулировки должен осуществлять один человек и

только одной рукой. Вторая рука должна быть свободна и не касаться аппаратуры стенда.

7. Студентам запрещается производить какие-либо переключения и регулировки на стенде, не предусмотренные описанием лабораторной работы.

8. В случае неисправности электрического оборудования стенда, а также при появлении дыма, искрения или запаха перегретой изоляции необходимо немедленно обесточить стенд. О всех неисправностях следует сообщить преподавателю или лаборанту.

9. Во время проведения лабораторных работ запрещается отходить от машин и приборов, включенных в сеть.

10. Кнопки управления стендами во избежание самопроизвольного включения и выключения должны быть "утоплены" или ограждены специальным кольцом. Кнопка "Стоп" окрашена в красный цвет.

11. При поражении человека электрическим током следует немедленно обесточить стенд. При потере сознания и остановке дыхания пострадавшего следует освободить от стесняющей одежды. До прибытия врача необходимо делать пострадавшему искусственное дыхание.

12. После окончания выполнения лабораторных работ необходимо выключить оборудование и обесточить приборы, привести в порядок рабочие места.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ВЕРОЯТНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ БРАКА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПАРТИИ РОЛИКОВ

Цель работы - путем математической обработки кривых распределения погрешностей определить точность изготовления партии роликов.

Содержание работы

1. По данным измерений диаметров в партии деталей построить кривую распределения.
2. Установить характеристику рассеивания размеров.
3. Сопоставить полученную кривую с кривой нормального распределения и определить вероятность соблюдения заданного допуска и вероятность появления брака.

Оборудование и материалы

Микрометр с пределом измерения 0 - 25 мм.

Общие положения

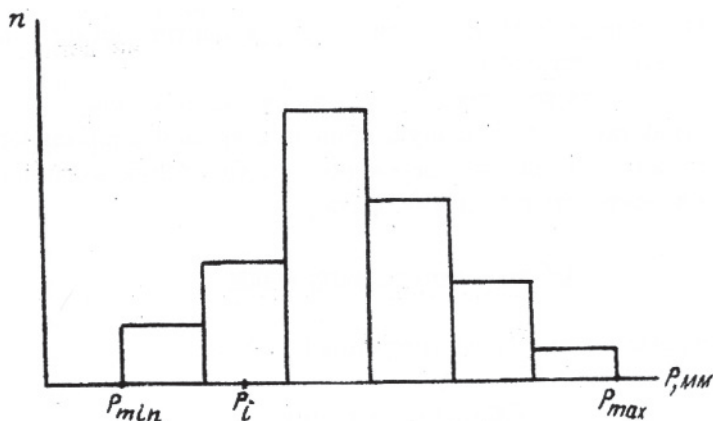
При анализе точности изготовленных деталей приходится рассматривать как систематические, так и случайные погрешности обработки.

Исследование случайных погрешностей основывается на выводах теории вероятности и математической статистики. При изучении случайных погрешностей изготовления удобно пользоваться кривыми распределения, которые строятся на основании многократных наблюдений одного и того же явления. По эмпирическим кривым распределения можно в первом приближении оценить, какому из известных законов распределения ближе всего соответствует распределение исследуемой случайной погрешно-

сти. Как показали многочисленные исследования, распределение погрешностей, изучение которых предусматривается при выполнении лабораторных работ, ближе всего соответствует закону нормального распределения (закон Гаусса).

При обработке результатов исследований считают, что ошибки измерений случайны (грубые и систематические ошибки должны быть предварительно устранены). Поэтому в дальнейшем рассматриваются только случайные ошибки.

Для того, чтобы получить первое представление о распределении строят ступенчатый многоугольник, называемый гистограммой (рис. 1). Для ее построения выполняют ряд операций.



Р и с. 1. Гистограмма статистических данных

Совокупность n измерений интересующего нас размера всей партии обработанных при одинаковых условиях деталей разбивают на m одинаковых интервалов с шагом

$$\Delta P = (P_{\max} - P_{\min}) / m,$$

где P_{\max} , P_{\min} - наибольшее и наименьшее измерения.

Затем на оси абсцисс откладывают границы интервалов и на каждом интервале строят прямоугольник с высотой, равной числу измерений попадающих в данный интервал.

Для удобства обозрения гистограммы ее основание должно быть в 1,5 - 2 раза больше высоты.

Всем значениям случайной величины, попавшим в 1-й интервал, присваивают значение P_i , соответствующее середине интервала.

Все наблюдения, совпадающие с границей интервала P_{i-1} , следует относить к i -му интервалу (последующему).

Установив по экспериментальным данным закон распределения, строят кривую распределения.

Кривые распределения характеризуются следующими параметрами:

- размахом распределения, или полем рассеивания

$$\varepsilon = P_{\max} - P_{\min};$$

- серединой поля рассеивания

$$P_{\text{cp}} = (P_{\max} + P_{\min}) / 2;$$

- центром группирования, или математическим ожиданием.

$$a = 1/n \sum P_i n_i;$$

где P_i - среднее значение i -го интервала;

n_i - число измерений, попадающих в i -й интервал;

Математическое ожидание представляет собой то числовое значение случайной величины, которое в среднем можно ожидать и около которого, как вокруг центра, происходит рассеивание всех остальных случайных величин;

- среднеквадратичным отклонением

$$\sigma = \sqrt{1/n \sum (P_i - a)^2 n_i};$$

- коэффициентом асимметрии распределения

$$\alpha = (a - P_{\text{cp}}) / 0,5 \varepsilon.$$

Коэффициент асимметрии равен нулю, когда центр группирования совпадает с серединой поля рассеивания, т.е. когда распределение симметрично;

- коэффициентом относительного рассеивания

$$k = E_r / E,$$

где E_r - ширина поля рассеивания нормального распределения (Гауссовского);

E - ширина поля рассеивания, распределение которого сравнивается.

Первичные ошибки могут иметь различные законы распределения.

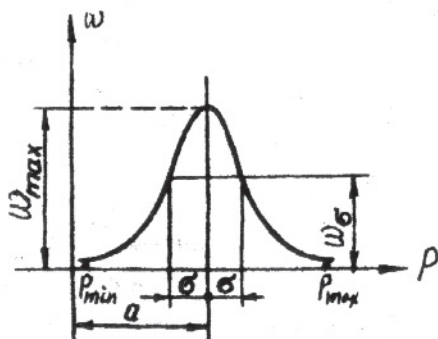
Закон распределение линейных диаметральных или угловых размеров при обработке заготовок на предварительно настроенном станке (автоматическое производство) является нормальным законом, или законом Гаусса (рис. 2).

Кривая распределения Гаусса, имеющая $\alpha = 0$; $k = 1$, характеризуется следующим уравнением:

$$\omega = 1 / \sigma \sqrt{2\pi} * e^{-(p-a)^2 / 2\sigma^2},$$

где ω - плотность вероятности;

e - основание натуральных логарифмов.



Р и с. 2. Кривая нормального распределения (кривая Гаусса)

Ордината вершины кривой при $x = \alpha$

$$\omega_{\max} = 1 / \sigma\sqrt{2\pi} \approx 0,4 / \sigma$$

Точки перегиба кривой лежат на расстояниях σ от ее оси симметрии и имеют ординаты

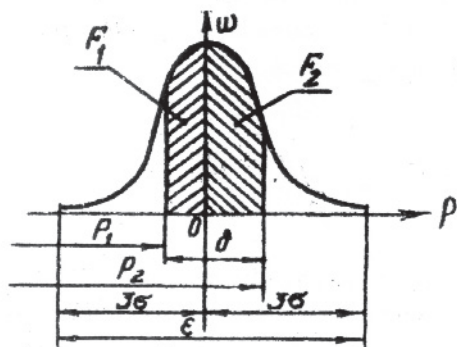
$$\omega_{\sigma} = \omega_{\max} / \sqrt{e} \approx 0,6; \quad \omega_{\max} = 0,24 / \sigma$$

При больших среднеквадратичных отклонениях σ кривая получается очень пологой, при малых σ - сильно вытянутой вверх с малым полем рассеивания ϵ .

Если положить $\alpha = 0$, т.е. провести ось ординат через центр распределения, получим

$$\omega = 1 / \sigma\sqrt{2\pi} * e^{-\rho^2/2\sigma^2}$$

Подобная кривая изображена на рис. 3.



Р и с. 3. Вид кривой нормального распределения размеров деталей при $\alpha = 0$.

Площадь, ограниченная кривой нормального распределения погрешностей и осью абсцисс, равна

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \omega dp = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{p^2}{2\sigma^2}} dp = 1.$$

Часто нужно найти вероятность того, что частота появления события P находится в каком-то интервале P_1, P_2 .

Если поле допуска $\delta = P_2 - P_1$ на изготовление детали установлено между размерами P_1 и P_2 , то площади

$$F_1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{P_1} e^{-\frac{p^2}{2\sigma^2}} dp$$

и

$$F_2 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{P_2} e^{-\frac{p^2}{2\sigma^2}} dp$$

выражают доли от всей площади между кривой Гаусса и осью абсцисс, т.е. вероятности получения деталей с размерами, отклонения которых лежат в интервалах $0 - P_2$ и $P_1 - 0$. Интегралы подобного типа путем подстановки $Z = P/\sigma$ приводятся к широко известному интегралу Лапласа

$$\Phi(Z) = 2 F_1 = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^Z e^{-\frac{z^2}{2}} dz.$$

Подобного рода подстановки изменяют масштаб, в результате чего случайная величина вместо обычных для нее единиц измерения (мм, мкм и т.д.) будет измеряться в долях своего среднего квадратичного отклонения.

Если обрабатываемой деталью является вал, то площадь, лежащая левее точки P_1 , отображает процент неисправимого брака, а площадь лежащая правее точки P_2 - процент исправимого

брака. В случае обработки отверстий - наоборот: площадь левее P_1 определяет процент исправимого брака, а правее P_2 - процент неисправимого брака. В распределении по закону Гаусса площадь, ограниченная интервалом $Z = \pm 3$, т. е. $P = \pm 3\sigma$, охватывает 99,73% всех измеренных размеров деталей, т.е. практически все размеры деталей партии лежат в интервале 6σ .

Величина 6σ принимается обычно за величину поля рассеивания; процент брака при этом не превышает 0,27%, а данная операция считается спланированной правильно, если $6\sigma \leq \delta$ (δ - величина допуска на обработку). Если $6\sigma \geq \delta$, то приходится менять технологический процесс, вводить доводочные процессы и т.п. или соглашаться на определенное количество заведомого брака.

Вероятность получения брака в % может определяться для двух случаев:

- 1) для случая смещения по абсциссе центра поля рассеивания от середины поля допуска (рис. 4);
- 2) для случая совмещения по абсциссе центра поля рассеивания с серединой поля допуска.

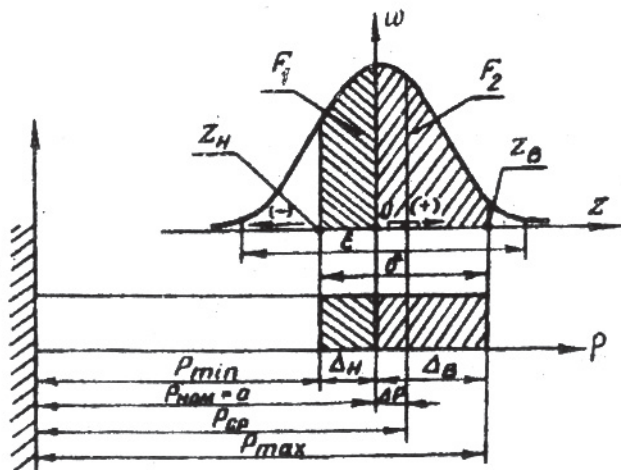


Рис. 4. Смещение поля допуска относительно поля рассеивания

Для первого случая величина смещения по абсциссе центра поля рассеивается от середины для допуска

$$\Delta P = a - (P_{\max} + P_{\min}) / 2 = a - P_{\text{cp}}$$

Значения верхнего и нижнего предельных отклонений размеров составляют:

$$\Delta_{\text{в}} = Z_{\text{в}} \sigma ; \quad \Delta_{\text{н}} = Z_{\text{н}} \sigma ,$$

откуда

$$Z_{\text{в}} = (P_{\max} - a) / \sigma ; \quad Z_{\text{н}} = (P_{\min} - a) / \sigma .$$

Вероятность получения брака по верхнему предельному отклонению в %

$$\tau'_{\text{в}} = [0,5 - \Phi (Z_{\text{в}})] 100 ;$$

по нижнему предельному отклонению

$$\tau'_{\text{н}} = [0,5 - \Phi (Z_{\text{н}})] 100 ,$$

где $\Phi(Z_{\text{в}})$, $\Phi(Z_{\text{н}})$ – определяется по прил.

Для второго случая, когда $Z_{\text{в}} = - Z_{\text{н}}$; $a = P_{\text{cp}}$, вероятность получения брака в %

$$\tau'' = \left[1 - 2\varphi \left(\frac{P_{\max} - P_{\min}}{2\sigma} \right) \right] 100 ..$$

Отношение допуска δ по чертежу к 6σ называется коэффициентом точности технологического процесса k_{τ}

$$k_{\tau} = \delta / 6\sigma .$$

Технологический процесс обеспечивает заданный по чертежу допуск, когда $k_{\tau} = 1,2 \div 1,5$.

Порядок выполнения работы

1. Измерить диаметры роликов партии из 30 шт.
2. Записать данные измерений в табл. 1

Таблица 1

Результаты измерений

№ п/п	Диаметр ролика, мм	№ п/п	Диаметр ролика, мм	№ п/п	Диаметр ролика, мм
1		11		21	
2		12		22	
3		13		23	
4		14		24	
5		15		25	
6		16		26	
7		17		27	
8		18		28	
9		19		29	
10		20		30	

3. Весь интервал размеров от наибольшего до наименьшего разбить на интервалы. Обычно принимают 10-15 интервалов, но при малом объеме выборки число интервалов приходится уменьшать до 5-6.

4. Подсчитать число n_i размеров, попадающих в каждый интервал. Результаты записывают в табл. 2 (первые четыре столбца).

5. По этим данным строят гистограмму (рис. 1, 6).

6. Соединив середины вершин прямоугольников линиями, получим кривую рассеивания действительных размеров (рис. 5) (первое представление о законе распределения).

Таблица 2

Расчет параметров кривой распределения

Но- мер интер- вала i	Интер- вал измере- ния	Среднее значение P_i	Частота n_i	$P_i \cdot n_i$	$P_i - a$	$(P_i - a)^2$	$(P_i - a)^2 n_i$
1	24-26	пример заполне- ния					
2	26-28						
3	28-30						
4	30-32						
5						
6	38-40						
7	40-42						
8							
9							
10							
11							
			$\sum n_i = n$	$a = \frac{\sum P_i \cdot a_i}{n}$			$\sqrt{\frac{\sum (P_i - a)^2 n_i}{n}}$

7. Закончить расчет табл. 2.

8. Построить кривую нормального распределения.

Для сокращения расчетов и упрощения построения кривой нормального распределения можно ограничиться определением только трех параметров: максимальной ординаты ω_{\max} (при $P = a = 0$), ординаты для точек перегиба ω_i (при $P = \pm \sigma$) и величины поля рассеивания $\varepsilon = \pm 3\sigma$ (рис. 2).

Чтобы сопоставить графически и определить, насколько кривая рассеивания фактических размеров приближается к теоретической кривой нормального распределения, обе кривые вычерчивают совмещенно в одинаковом масштабе. Для приведения кривой нормального распределения к тому же масштабу, в котором вычерчивают кривую рассеивания фактических размеров (показаний), необходимо ввести масштабный коэффициент.

Тогда с учетом масштаба

$$n_{\max} = 0,4 \, n \Delta p / \sigma;$$

$$n_{\sigma} = 0,24 \, n \Delta p / \sigma;$$

$$\varepsilon = \pm 3\sigma.$$

Найти параметры кривой нормального распределения:

$$\omega_{\max} =$$

$$n_{\max} =$$

$$\omega_{\sigma} =$$

$$n_{\sigma} =$$

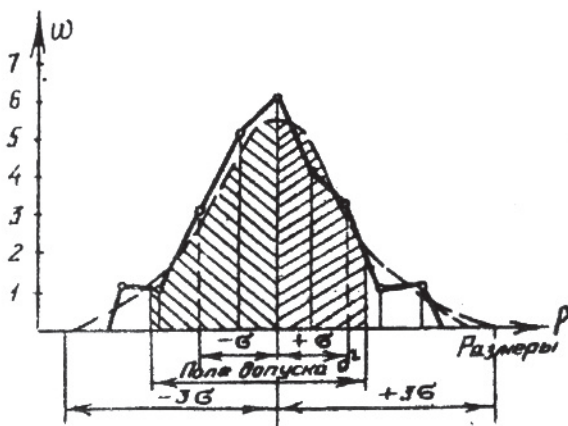
$$\varepsilon =$$

$$\varepsilon =$$

По этим данным строят кривую нормального распределения (рис. 2, 5, 6).

Полагая, что рассеивание фактических размеров соответствует нормальному закону распределения, можно определить вероятность соблюдения заданного допуска обработки на исследуемой операции.

Вероятность получения деталей в пределах поля допуска, как указывалось, равняется отношению площади, заключенной между кривой распределения и ординатами, проведенными через концы поля допуска, ко всей площади кривой нормального распределения.



Р и с. 5. Кривая рассеивания фактических размеров и кривая нормального распределения размеров деталей

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ УСТАНОВКИ РАЗМЕРА ПО ЛИМБУ СТАНКА

Цель работы - определить точность установки размера по лимбу станка путем математической обработки кривых распределения погрешностей.

Содержание работы

1. По данным измерений установки по лимбу станка построить кривую распределения.
2. Установить характеристику рассеивания размеров.
3. Сопоставить полученную кривую с кривой нормального распределения и определить точность установки размера по лимбу станка.

Оборудование и приспособления

1. Токарно-винторезный станок
2. Упор.
3. Державка индикатора.
4. Индикатор.

Указания к выполнению работы

Точность установки по лимбу станка можно найти на основании многократных измерений устанавливаемого размера, построения кривых распределения погрешностей и их математической обработки. При выполнении данной работы необходимо ознакомиться с разделом "Общие положения" лабораторной работы № 1.

Порядок проведения работы

1. Установить упор направляющих станка между коробкой скоростей станка и суппортом.
2. Подвести суппорт до соединения с упором.
3. Совместить маховичком О на лимбе суппорта с риской на суппорте.
4. Отвести суппорт на один-два оборота назад и убрать упор.
5. Вращая маховичок против часовой стрелки, совместить риску с О на лимбе. Добиться совпадения рисок, легко постукивая рукой по рукоятке маховичка. Записать показания индикатора.
6. Повторить измерения 60 раз, показания индикатора при каждом измерении записать в табл. 3.

Таблица 3

Результаты измерений

№ п/п	Показание индикатора, ед.	№ п/п	Показание индикатора, ед.	№ п/п	Показание индикатора, ед.
1		21		41	
2		22		42	
3		23		43	
4		24		44	
5		25		45	
6		26		46	
7		27		47	
8		28		48	
9		29		49	
10		30		50	
11		31		51	
12		32		52	
13		33		53	
14		34		54	
15		35		55	
16		36		56	
17		37		57	
18		38		58	
19		39		59	
20		40		60	

7. Произвести разбивку поля рассеивания на 5-7-11 интервалов (Δl). Подсчитать и записать число n_i появлений размеров внутри каждого интервала.

8. Вычислить a , σ , ϵ и записать их значения в табл. 4.

9. Найти параметры кривой нормального распределения и построить ее, совместив при этом ее с опытной кривой распределения, как указано в лабораторной работе № 1.

10. По совмещенным кривым распределения определить поле рассеивания размеров (точность установки размера по лимбу), соответствующее $\pm 3\sigma$.

Таблица 4

Расчет параметров кривой распределения

Номер интервала i	Интервал измерения	Среднее значение l_i	Частота n_i	l_i	n_i	$l_i - a$	$(l_i - a)^2$	$(l_i - a)^2 n_i$
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
			$\sum n_i = n$	$a = \frac{\sum l_i n_i}{n}$				$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (l_i - a)^2 n_i}{n}}$

Найти параметры кривой нормального распределения:

$$\omega_{\max} =$$

$$\omega_{\delta} =$$

$$\varepsilon =$$

$$n_{\max} =$$

$$n\sigma =$$

$$\varepsilon =$$

Построить кривые распределения действительных размеров нормального распределения (рис. 7)

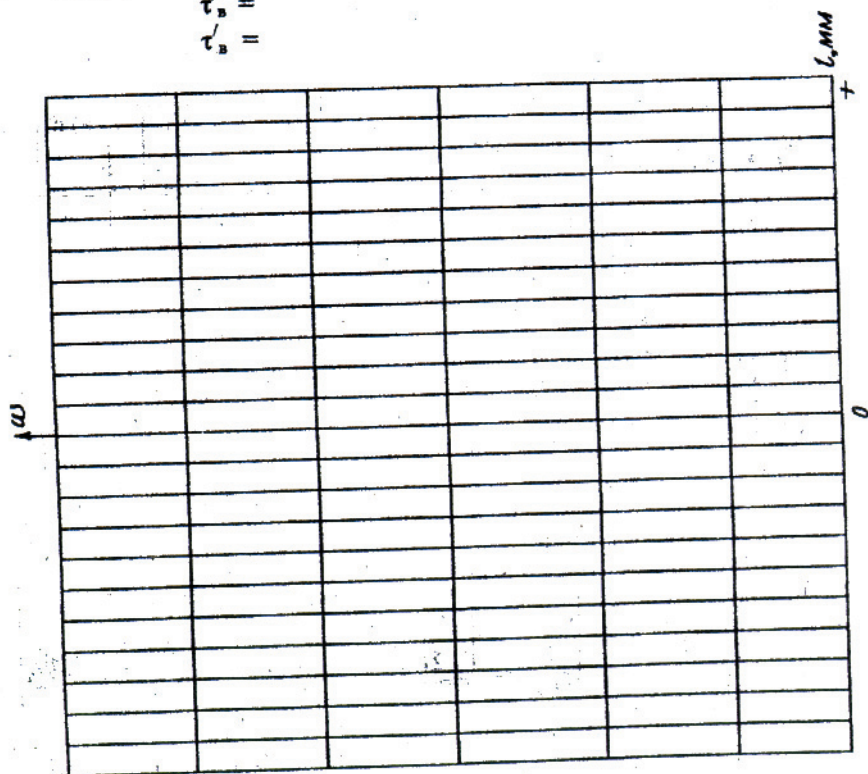
Определить точность установки размера по лимбу станка
вероятность получения брака

$$Z_H =$$

$$Z_B =$$

$$\tau'_B =$$

$$\tau'_B =$$



Р и с. 7. Построение кривых распределения действительных размеров и нормального распределения размеров деталей

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ СТАНКА СТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Цель работы - определить жесткость станка статическим методом.

Содержание работы

1. По данным измерений построить диаграмму “нагрузка-перемещение”
2. Определить жесткость узлов станка.

Оборудование

1. Токарный станок с центрами.
2. Индикаторы на стойках - 3 шт.
3. Динамометр.
4. Вал-оправка.

Указания к выполнению работы

При обработке деталей на металлорежущих станках силы резания передаются на систему “станок - приспособление - инструмент - деталь” (СПИД), вызывая их деформации. В настоящей работе определяется коэффициент жесткости токарного станка при нагружении его одной составляющей силы резания P_y и жесткость станка при нагружении узлов станка равнодействующей от трех составляющих силы резания P_y , P_z и P_x . Деформации элементов системы СПИД сказываются на их взаимном расположении и вызывают погрешности обработки, которые часто достигают 80% от погрешности изготовления.

Жесткость СПИД определяет и виброустойчивость системы, от чего зависят частота, точность и производительность обработки.

Жесткостью j СПИД называют отношение составляющей силы резания P_y , направленной по нормали к обработанной поверхности, к смещению y в том же направлении режущей кромки инструмента

$$j = P_y / y, \text{ Н/мм}$$

Вследствие нелинейности связи P_y и y , как это обычно бывает на практике, эта формула применима для того диапазона нагрузки, для которого значение j определено экспериментально.

Жесткость системы СПИД складывается из жесткости отдельных ее узлов

$$j_{\text{сист}} = P_{y_{\text{ст}}} / y_{\text{ст}} + P_{y_{\text{пр}}} / y_{\text{пр}} + P_{y_{\text{и}}} / y_{\text{и}} + P_{y_{\text{д}}} / d,$$

где индексы: ст - станок;
пр - приспособление;
и - инструмент;
д - деталь.

Чтобы не иметь дела с суммированием дробных величин, будем складывать не жесткости j , а обратные им величины - податливости:

$$\omega = 1 / j;$$

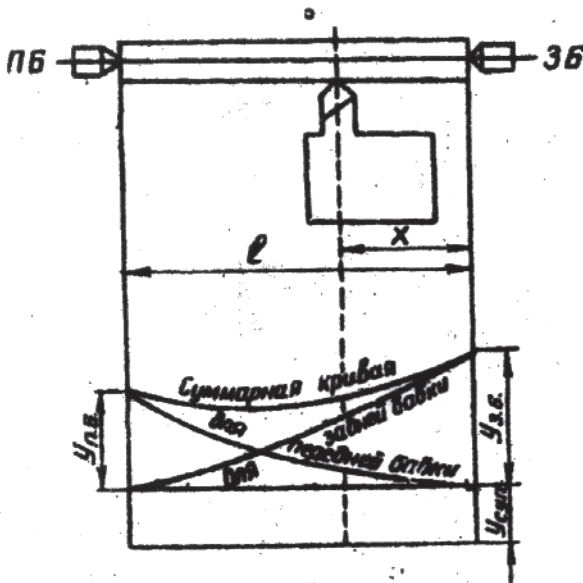
$$\omega_{\text{ст}} = \omega_{\text{суп}} + \omega_{\text{п.б.}} \left(\frac{x}{l} \right)^2 + \omega_{\text{з.б.}} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2,$$

где индексы: суп - суппорт;
п.б. - передняя бабка;
з.б. - задняя бабка.

Как видно из формулы, податливость станка изменяется и зависит от координаты x зоны резания. Чтобы проще было сравнивать жесткости систем станков, принимают $x = l / 2$, тогда

$$\omega_{от} = \omega_{суп} + 1/4 (\omega_{п6} + \omega_{з6}).$$

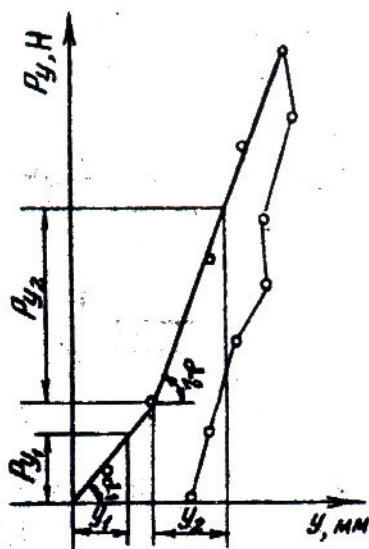
На рис. 8 показана схема упругих перемещений узлов токарного станка.



Р и с. 8. Схема упругих перемещений узлов токарно-винторезного станка

Существует два метода определения жесткости системы СПИД: статический (на неработающем станке) и производственный (на работающем станке). При статическом методе станок нагружается только одной составляющей P_y , что упрощает испытания, но характеризует жесткость системы лишь приближенно.

При определении жесткости системы СПИД ее нагружают ступенчато возрастающей нагрузкой и, регистрируя соответствующие перемещения, строят диаграммы "нагрузка - перемещение" (рис. 9). Нагрузочная ветвь такой диаграммы не совпадает с разгрузочной и на диаграмме образуется петля, характеризующая энергию, затраченную на преодоление сил трения за цикл "нагрузка - разгрузка".



Р и с. 9. Двухступенчатая диаграмма “нагрузка - перемещение”

Отрезок между ветвями на оси абсцисс показывает размер остаточной деформации. Расположение экспериментальных точек нагрузочной ветви обычно аппроксимируют кривой так, чтобы сумма площадей, ограниченных ломаной линией и кривой, была одинаковой с обеих сторон. Тангенс угла наклона кривой в данной точке характеризует жесткость. Если кривая имеет перегибы, а это бывает часто, то система СПИД будет иметь различные значения жесткости в разных диапазонах нагрузки.

Порядок выполнения работы

1. Установить в центрах станка вал так, чтобы расстояние от корпуса задней бабки до торца вала составило 50 мм.
2. Установить по центру детали и закрепить в резцедержателе динамометр, слегка поджав его к середине вала (через шарик).

3. Установить три стойки с индикаторами на станке так, чтобы их измерительные наконечники касались соответственно центра передней бабки, торца державки динамометра и центра задней бабки.

4. Предварительно дважды нагрузить суппортом вал до 200 Н. Снять нагрузку.

5. Установить все индикаторы на 0 при натяге до 50 Н.

6. Ступенчато (через 200 Н) нагружать вал до предельной нагрузки 1000 Н, учитывая, что 50 Н нагрузки соответствует перемещение стрелки индикатора динамометра на шесть делений.

7. Ступенчато (через 200 Н) произвести полную разгрузку, записывая показания приборов в табл. 5.

8. Построить диаграммы “нагрузка - перемещение” для передней бабки, суппорта и задней бабки (рис. 10).

9. Определить податливость каждого узла.

10. Подсчитать жесткость станка при $x = l / 2$.

Оформление работы

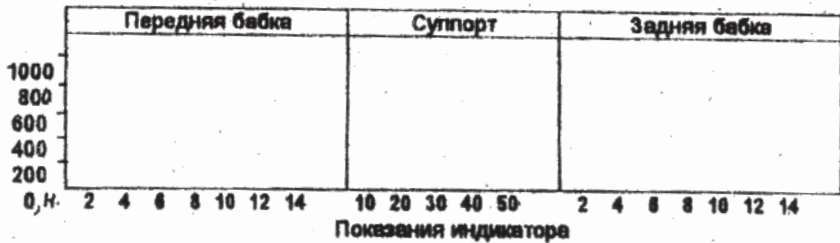
Зарисовать схему установки и перечислить приборы, применяемые при выполнении работы.

Записать результаты размеров в табл. 5 .

Результаты измерений

Нагрузка, Н	Деформация, мм					
	Передняя бабка		Суппорт		Задняя бабка	
	Нагрузка	Разгрузка	Нагрузка	Разгрузка	Нагрузка	Разгрузка

По результатам измерений построить диаграмму “нагрузка - перемещение”.



Р и с. 10. Диаграммы “нагрузка - перемещение” узлов токарно-винторезного станка

Определить жесткость по наибольшей нагрузке

$$j_{пб} =$$

$$j_{суп} =$$

$$j_{зб} =$$

Жесткость станка $\omega_{ст} =$

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Цель работы - определить жесткость станка статическим методом.

Содержание работы

1. По данным измерения построить диаграмму “нагрузка - перемещение”.
2. Определить жесткость узлов станка.

Оборудование

1. Фрезерный станок.
2. Индикаторы.
3. Динамометр.
4. Вал-оправка.

Указания к выполнению работы

При выполнении данной работы необходимо ознакомиться с подобным разделом в лабораторной работе № 3.

Порядок выполнения работы

Работу следует выполнять в следующем порядке:

1. Установить фрезерную оправку с насаженными на нее кольцами в шпиндель станка и затянуть ее через шпиндель болтом; повесить подвеску с динамометром.
2. Укрепить при помощи струбцин на станине станка индикаторные стойки так, чтобы наконечники индикаторов касались конца шпинделя сверху.
3. Вращая ключом винт домкратика, произвести предварительную нагрузку системы (один-два раза до 300 Н) и снять нагрузку.

4. Установить все индикаторы на нуль.
5. Постепенно нагрузить систему, увеличивая нагрузку ступенями через три индикатора динамометра до 2000 Н. Результаты замеров занести в табл. 6.
6. Построить график "нагрузка - перемещение" для каждого узла в отдельности по данным каждого индикатора и определить коэффициенты податливости узлов.
7. Рассчитать суммарный коэффициент жесткости станка.

Таблица 6

Результаты измерений

№ п/п	Показатели динамо- метра	Деформация, мм					
		Оправка		Шпиндель		Стол	
		На- грузка	Раз- грузка	На- грузка	Раз- грузка	На- грузка	Раз- грузка

Лабораторная работа № 5

РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПЕРАЦИОННЫХ ДОПУСКОВ

Цель работы - научить студентов рассчитывать припуски на обработку.

Содержание работы

1. Рассчитать припуски:
 - а) на цилиндрическую поверхность с шероховатостью $0,32$ - $0,63$ и точностью - качеством размера h_7 ;
 - б) на торцевую поверхность с шероховатостью $0,8$ - $2,5$ и точностью - качеством размера h_8 .
2. Определить суммарный припуск на обработку этих поверхностей.

Исходный материал

1. Чертеж детали.
2. Справочные данные для расчета припусков.

Указания к выполнению работы

Ознакомившись с чертежом детали (рис. 11) и технологическим процессом обработки, следует приступить к расчету припусков.

Припуски определяются дифференцированным методом на каждую следующую операцию механической обработки по одной из следующих формул:

несимметричный припуск

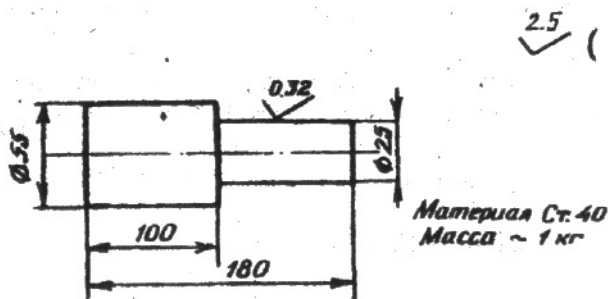
$$Z_2 \geq k (\delta_1 + H_1 + T_1 + \rho_1 + \varepsilon_2),$$

Симметричный (двусторонний припуск)

$$2Z_2 \geq k [\delta_1 + 2(H_1 + T_1) + \rho_1 + \varepsilon_2],$$

- где Z_2 - припуск на сторону на выполненный переход;
- k - коэффициент перекрытия одних погрешностей другими; при выполнении чистовых и отделочных операций следует принимать $k = 1$;
- при выполнении черновых операций $k = 0,8 - 0,9$;
- δ_1 - допуск на размер для смежного предшествующего перехода;
- H_1 - высота микронеровностей поверхности, полученная на предшествующем переходе,
- $$H_1 = R_z,$$
- T_1 - глубина дефектного поверхностного слоя, полученная в результате обработки на предшествующем переходе;
- ρ_1 - суммарное значение пространственных отклонений взаимосвязанных поверхностей, оставшихся после выполнения предшествующего перехода;
- e_2 - погрешность установки заготовки при выполняемом переходе, определяемая или из конкретных условий установки детали на каждой операции технологического процесса, или по справочным данным, приведенным в таблицах [1].

Значения δ_1 , H_1 и T_1 для различных видов обработки приведены в справочных таблицах [1].



Р и с. 11. Чертеж детали

Значение ρ_1 определяется из конкретных условий технологического процесса или по следующим формулам:

для стержневых деталей (валы ступенчатые, рычаги и пр.)

$$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2};$$

для деталей типа дисков

$$\rho = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{эксц}^2}.$$

Значения погрешностей заготовок по смещению $\rho_{см}$, короблению $\rho_{кор}$ и эксцентриситету $\rho_{эксц}$ приведены в справочных таблицах [1].

Для деталей, подвергшихся правке и термообработке,

$$\rho = \Delta_k L,$$

где Δ_k - удельное значение кривизны;

L - расстояние от сечения, для которого определяется ρ , до опоры; при консольном закреплении вала ρ следует принимать равным l , при установке того же вала в центрах $2L$.

После однократного и чернового точения $\rho_{черн} = 0,06\rho_{заг}$; после полуступенчатого точения $\rho_{пол} = 0,05\rho_{черн}$; после чистого точения $\rho_{чист} = 0,14\rho_{черн}$.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с чертежом детали.
2. Выбрать формулы, необходимые для расчета.
3. Назначить технологический маршрут обработки данной детали.
4. Расчет припусков вести от размеров готовой детали к заготовке.

5. Определив припуск на операцию механической обработки, назначить операционный размер в соответствии с допуском δ_1 на выполнение данной операции.

6. Рассчитав припуски на каждую операцию технологического процесса и назначив операционные размеры, следует определить размеры заготовки.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1,2/ Под ред. А. Г. Косиловой и Р. В. Мещерикова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1985.
 2. Воробьев Л. Н. Технология машиностроения и ремонт машин. Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1981. 344с.
 3. Чабанный В. Я., Власенко Н. В., Тимченко В. Н. Технология производства и ремонт дорожно-строительных машин. Киев; Вища школа, 1985. 263 с.
 4. Маталин А. А. Технология машиностроения. Учебник для машиностроительных вузов по спец. "Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты". Л.: Машиностроения, 1985. 496с.
 5. Красильников В. Е., Перлов В. А., Сметнев Н. Н. Лабораторный практикум по технологии производства и ремонта автотракторного электрооборудования. М.: Машиностроение, 1986. 128 с.
 6. ГОСТ 15895-77 (СТ СЭВ 547-84, СТ СЭВ 3404-81). Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения.
 7. ГОСТ 15467-79 (СТ СЭВ 3519-81). Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.
 8. ГОСТ 2.116-84. Карта технического уровня и качества продукции.
 9. ГОСТ 27.001-83. Система стандартов "Надежность в технике". Основные положения.
 10. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
 11. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении Термины и определения.
 12. ГОСТ 2.307-68*. Нанесение размеров и предельных отклонений.
 13. ГОСТ 2.308-79. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей.
 14. ГОСТ 2.309-73*. Обозначение шероховатости поверхности.
- Примечание.* Звездочкой отмечено обозначение стандарта, к которому приняты измерения.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Функция Лапласа

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
0,00	0,0000	0,31	0,1217	0,62	0,2324	0,93	0,3228
0,01	0,0040	0,32	0,1255	0,63	0,2357	0,94	0,3264
0,02	0,0080	0,33	0,1293	0,64	0,2389	0,95	0,3289
0,03	0,0120	0,34	0,1331	0,65	0,2422	0,96	0,3315
0,04	0,0160	0,35	0,1368	0,66	0,2454	0,97	0,3340
0,05	0,0199	0,36	0,1406	0,67	0,2486	0,98	0,3365
0,06	0,0239	0,37	0,1443	0,68	0,2517	0,99	0,3389
0,07	0,0279	0,38	0,1480	0,69	0,2549	1,00	0,3413
0,08	0,0319	0,39	0,1517	0,70	0,2580	1,01	0,3438
0,09	0,0359	0,40	0,1554	0,71	0,2611	1,02	0,3461
0,10	0,0398	0,41	0,1591	0,72	0,2642	1,03	0,3485
0,11	0,0438	0,42	0,1628	0,73	0,2673	1,04	0,3508
0,12	0,0478	0,43	0,1664	0,74	0,2703	1,05	0,3531
0,13	0,0517	0,44	0,1700	0,75	0,2734	1,06	0,3554
0,14	0,0557	0,45	0,1736	0,76	0,2764	1,07	0,3577
0,15	0,0596	0,46	0,1772	0,77	0,2794	1,08	0,3599
0,16	0,0636	0,47	0,1808	0,78	0,2823	1,09	0,3621
0,17	0,0675	0,48	0,1844	0,79	0,2852	1,10	0,3643
0,18	0,0714	0,49	0,1879	0,80	0,2881	1,11	0,3665
0,19	0,0753	0,50	0,1915	0,81	0,2910	1,12	0,3686
0,20	0,0793	0,51	0,1950	0,82	0,2939	1,13	0,3708
0,21	0,0832	0,52	0,1985	0,83	0,2967	1,14	0,3729
0,22	0,0871	0,53	0,2019	0,84	0,2995	1,15	0,3749
0,23	0,0910	0,54	0,2054	0,85	0,3023	1,16	0,3770
0,24	0,0948	0,55	0,2088	0,86	0,3051	1,17	0,3790
0,25	0,0987	0,56	0,2123	0,87	0,3078	1,18	0,3810
0,26	0,1026	0,57	0,2157	0,88	0,3106	1,19	0,3830
0,27	0,1064	0,58	0,2190	0,89	0,3133	1,20	0,3849
0,28	0,1103	0,59	0,2224	0,90	0,3159	1,21	0,3869
0,29	0,1141	0,60	0,2257	0,91	0,3186	1,22	0,3886
0,30	0,1179	0,61	0,2291	0,92	0,3212	1,23	0,3907

Окончание прил.

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
1,24	0,3925	1,58	0,4429	1,92	0,4726	2,52	0,4941
1,25	0,3944	1,59	0,4441	1,93	0,4732	2,54	0,4945
1,26	0,3963	1,60	0,4452	1,94	0,4738	2,56	0,4948
1,27	0,2980	1,61	0,4463	1,95	0,4744	2,58	0,4951
1,28	0,3997	1,62	0,4474	1,96	0,4750	2,60	0,4953
1,29	0,4015	1,63	0,4484	1,97	0,4756	2,62	0,4956
1,30	0,4032	1,64	0,4495	1,98	0,4761	2,64	0,4959
1,31	0,4094	1,65	0,4505	1,99	0,4767	2,66	0,4961
1,32	0,4066	1,66	0,4515	2,00	0,4772	2,68	0,4963
1,33	0,4082	1,67	0,4525	2,02	0,4783	2,70	0,4965
1,34	0,4099	1,68	0,4535	2,04	0,4793	2,72	0,4967
1,35	0,4115	1,69	0,4545	2,04	0,4803	2,74	0,4969
1,36	0,4131	1,70	0,4554	2,08	0,4812	2,76	0,4971
1,37	0,4147	1,71	0,4564	2,10	0,4821	2,78	0,4973
1,38	0,4162	1,72	0,4573	2,12	0,4830	2,80	0,4974
1,39	0,4177	1,73	0,4582	2,14	0,4838	2,82	0,4976
1,40	0,4192	1,74	0,4591	2,16	0,4846	2,84	0,4977
1,41	0,4207	1,75	0,4599	2,18	0,4854	2,86	0,4979
1,42	0,4222	1,76	0,4608	2,20	0,4861	2,88	0,4980
1,43	0,4236	1,77	0,4616	2,22	0,4868	2,90	0,4981
1,44	0,4251	1,78	0,4625	2,24	0,4875	2,82	0,4982
1,45	0,4265	1,79	0,4633	2,26	0,4881	2,94	0,4984
1,46	0,4279	1,80	0,4641	2,28	0,4887	2,96	0,4985
1,47	0,4292	1,81	0,4649	2,30	0,4893	2,98	0,4986
1,48	0,4306	1,82	0,4665	2,32	0,4898	3,00	0,49865
1,49	0,4319	1,83	0,4664	2,34	0,4904	3,20	0,49931
1,50	0,4332	1,84	0,4671	2,36	0,4090	3,40	0,49966
1,51	0,4345	1,85	0,4678	2,38	0,4913	3,60	0,499841
1,52	0,4357	1,86	0,4686	2,40	0,4918	3,80	0,499928
1,53	0,4370	1,87	0,4693	2,42	0,4922	4,00	0,499968
1,54	0,4382	1,88	0,4699	2,44	0,4927	4,50	0,499997
1,55	0,4394	1,89	0,4706	2,46	0,4931	5,00	0,499997
1,56	0,4406	1,90	0,4713	2,48	0,4934		
1,57	0,4418	1,91	0,4719	2,60	0,4938		

Канд. техн. наук, проф. В. С. СОКОЛОВ

**ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
И ПРОИЗВОДСТВО ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН**

Руководство к выполнению лабораторных работ

Часть I

Редактор Г.В. Тимченко
Компьютерная верстка И.В. Ежовой
Корректор Д.П. Кузмина

ЛР № 020307 от 28.11.91.

Тип. зак	853	Изд. зак.	72	Тираж	100
Подписано в печать	21.04.99.	Офсет.		Цена договорная.	
Печ. л. 2, 5.		Уч.-изд. л.	2,5.	Формат	60x90/16

Редакционно-издательский отдел, типография РГОТУПС,
125808, Москва, ГСП-47, Часовая ул., 22/2