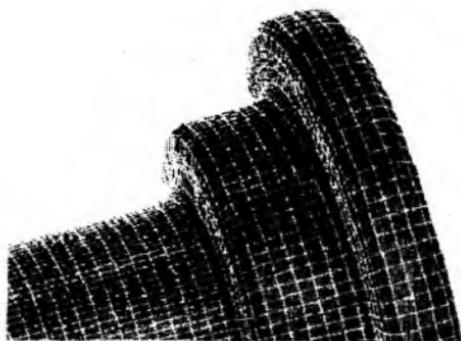


Кафедра
ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

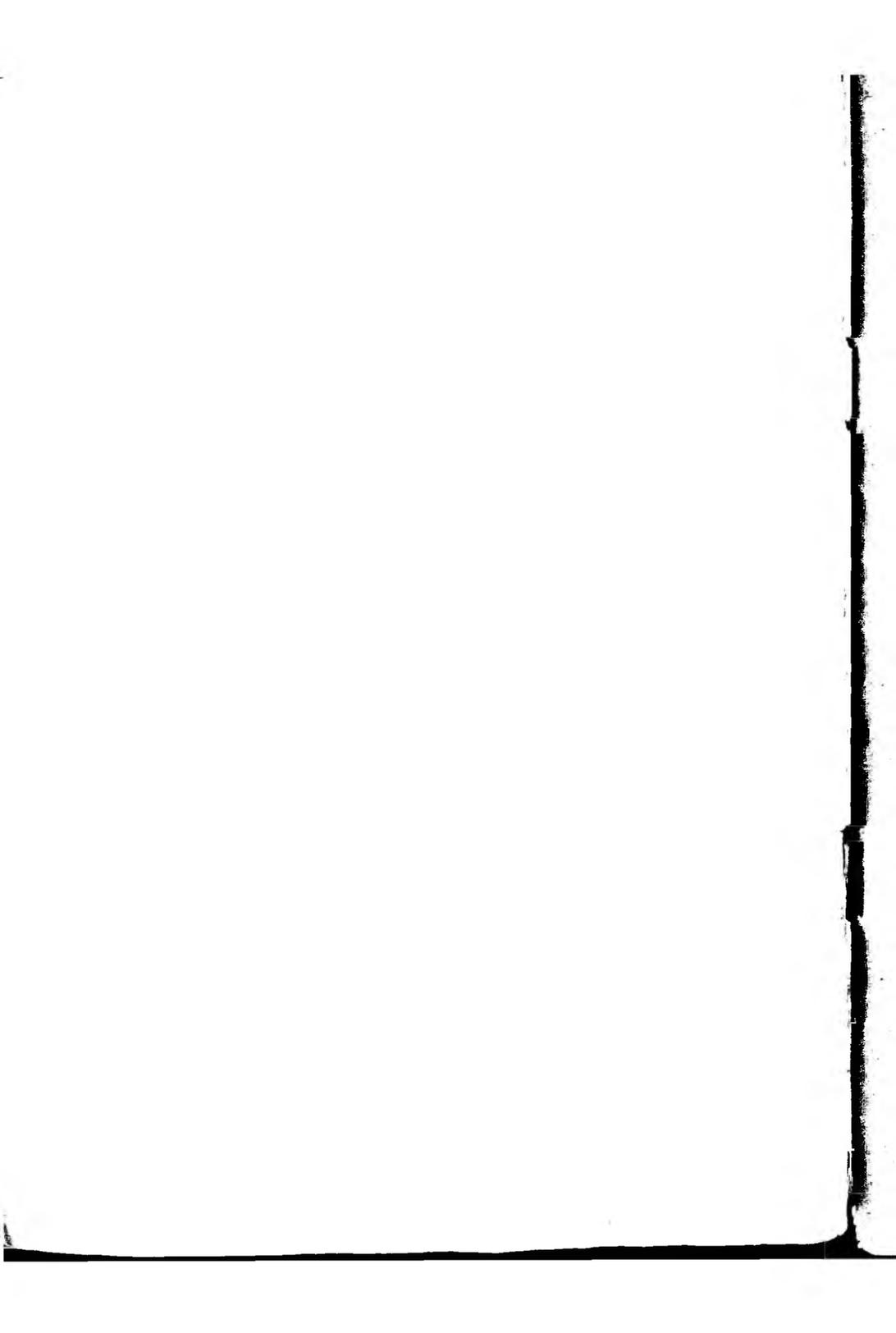
Ю. Л. Чигиринский, Ю. М. Быков,
Н. В. Чигиринская, А. Г. Схиртладзе

**СБОРНИК ЗАДАЧ ПО
САПР ТП И
МАТЕМАТИЧЕСКОМУ
МОДЕЛИРОВАНИЮ**



Волгоград

2003



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Ю. Л. Чигиринский, Ю. М. Быков, Н. В. Чигиринская, А. Г. Схиртладзе

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО САПР ТП И МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АВ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств" и направлению подготовки дипломированных специалистов – "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств"

РПК
"Политехник"
Волгоград
2003

УДК 658.512

Рецензенты:

д-р техн. наук проф. *В. И. Шапочкин*;
д-р техн. наук проф. *В. А. Носенко*

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Сборник задач по САПР ТП и математическому моделированию:
Учеб. пособие / Чигиринский Ю. Л., Быков Ю. М., Чигиринская Н. В.,
Схиртладзе А. Г. – ВолгГТУ, Волгоград, 2003 – 76 с.
ISBN 5-230-04199-4

Приводятся задачи технологического проектирования, относящиеся к учебным дисциплинам "Математическое моделирование процессов машиностроения", "Основы САПР и программно-статистические комплексы", "САПР технологии" и справочные данные, необходимые для выполнения расчетов, и сведения о применении пакетов программ Microsoft Excel и SPRUT для решения задач.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 5529 и специальностям 1201, 0720, 6514.

Ил. 7. Табл. 20. Библиогр.: 11 назв.

ISBN 5-230-04199-4

© Волгоградский государственный
технический университет, 2003

1. Задачи, решаемые методами математической статистики

Методы математической статистики (стохастическое моделирование) позволяют исследовать процессы в условиях неполной исходной информации и прогнозировать будущие результаты процессов с учетом достоверности имеющихся сведений. К числу задач, решаемых средствами стохастического моделирования [3, 4, 10], можно отнести следующие:

1. Выделение существенных факторов, определяющих результаты процесса.
2. Классификация погрешностей и определение степени их влияния на результаты процесса.
3. Математическое описание процесса для управления его результатами.

Подразумевается не прямое исследование физических (химических) закономерностей протекания процесса, а изучение феноменологической стороны процесса с учетом наиболее существенных факторов.

Решение подобных задач сводится, обычно, к поиску математических моделей, наиболее точно описывающих протекание изучаемого процесса в жестко заданном диапазоне входных параметров. Сложность решаемой задачи зависит не только от исследуемого процесса, но и от степени информированности исследователя о виде математической модели. Если вид модели неизвестен, то в качестве функции отклика можно использовать полиномиальную или показательную зависимость. При известной форме математической модели задача состоит в наиболее точном определении параметров математического отношения и оценке достоверности полученных результатов. В случае, когда имеется несколько «конкурирующих» моделей, по результатам статистического исследования можно выбрать одну из них, по критерию точности, например, или по относительной простоте вида, информационной ценности и т. д.

1.1. Статистические оценочные показатели

Мода – значение случайной величины, которое появляется, при повторениях опыта, с наибольшей вероятностью [8, 9]. В некоторых случаях, например, после изменения условий процесса, возможны полимодальные распределения.

Математическое ожидание (среднее значение) – значение случайной величины, которое характеризует центр распределения. Для дискретной случайной величины математическое ожидание равно [8, 9]:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot m_i}{n} = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i, \quad (1)$$

где x_i – каждое из возможных значений случайной величины;

m_i – абсолютная частота появления случайной величины;

$$p_i – \text{вероятность появления значения } x_i; p_i = \frac{m_i}{n}; \quad (2)$$

n – количество возможных значений x_i .

Следует учитывать, что иногда значения моды и математического ожидания могут совпадать (симметричный нормальный закон, закон Симпсона). Однако для равновероятного распределения, например, понятие моды может отсутствовать, а при несимметричных распределениях (закон Пуассона, двухпараметрическое β -распределение) эти два значения различаются. В большинстве случаев технолог [4, 10] сталкивается с ситуациями, в которых достаточным является использование симметричных распределений случайных величин. В этих случаях понятия «математического ожидания» и «мода» практически идентичны. Исключения могут составлять случаи досрочного изменения условий процесса (до завершения анализа), то есть полимодальные распределения случайных величин.

Среднеквадратичное отклонение – среднее отклонение

случайной величины (без учета знака) от ее среднего значения.

$$S = \begin{cases} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{A})^2 \cdot m_i}{n}}, & n \geq 100; \\ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{A})^2 \cdot m_i}{n-1}}, & n < 100. \end{cases} \quad (3)$$

Дисперсия – среднее значение квадрата отклонения случайной величины от ее среднего значения.

$$D_x = S^2. \quad (4)$$

Мода и математическое ожидание характеризуют расположение кривой распределения, а среднее квадратичное отклонение и дисперсия – ее форму и размеры.

1.2. Оценка среднего и дисперсии

Задача 1. В табл. 1 приведены результаты измерений диаметров отверстий, обработанных одним инструментом на одном станке. Определить количество годных изделий и бракованных изделий, не подлежащих исправлению, при обработке отверстия $\varnothing 8,5$ Н14.

Рассмотрим решение задачи.

Таблица 1

Замеренные значения диаметров отверстий после сверления, мм									
8,61	8,73	8,82	8,58	8,69	8,82	8,45	8,54	8,80	8,63
8,87	8,56	8,34	8,67	8,70	8,74	8,40	8,55	8,64	8,98
8,62	8,68	8,72	8,37	8,44	8,67	8,51	8,87	8,59	8,61
8,60	8,66	8,76	8,85	8,42	8,28	8,78	8,62	8,57	8,65
8,48	8,76	8,65	8,49	8,53	8,77	8,81	8,56	8,84	8,71
8,55	8,66	8,68	8,72	8,87	8,46	8,53	8,42	8,75	8,67
8,39	8,47	8,83	8,71	8,65	8,57	8,62	8,86	8,69	8,58
8,70	8,74	8,64	8,68	8,60	8,58	8,54	8,50	8,71	8,79
8,65	8,69	8,70	8,52	8,61	8,75	8,51	8,62	8,78	8,61
8,67	8,63	8,82	8,53	8,66	8,59	8,62	8,61	8,66	8,55

Для решения задачи используем табличный процессор MS EXCEL.

Создадим рабочую книгу TMS.XLS, в которой имеется два рабочих листа. Присвоим первому листу книги название «Исходные данные», второму листу – «Результаты расчета». На первом листе в диапазоне ячеек A1:A100 разместим исходные значения из табл.1 и присвоим столбцу А имя «Размеры». Все дальнейшие действия выполняем на листе «Результаты расчета».

В ячейках A1:E6 формируем таблицу для оценки диапазона размеров на различных этапах расчета (табл. 2):

Таблица 2

	А	В	С	Д	Е
1			Фактически	Улучшено	Результат
2	Минимум		8,2800	8,2730	8,2411
3	Максимум		8,9800	8,9870	9,0395
4	Средний		8,6393	8,6403	
5	Замеров			100	
6	Интервалов			9	

В ячейки с числовыми значениями записаны следующие формулы MS

Excel (выделены округлым шрифтом):

в ячейку C2: =МИН(Размеры);

в ячейку C3: =МАКС(Размеры);

в ячейку C4: =ЕСЛИ(СЧЁТ(Размеры)>0;СРЗНАЧ(Размеры);"");

в ячейку D2: =C2-0,01*(C\$3-C\$2);

в ячейку D3: =C3+0,01*(C\$3-C\$2);

в ячейку E2: =ЕСЛИ(СЧЁТ(Размеры)>0;Мода-3*Сигма;"");

в ячейку E3: =ЕСЛИ(СЧЁТ(Размеры)>0;Мода+3*Сигма;"");

в объединенную ячейку D4 (E4): =ЕСЛИ(СЧЁТ(Размеры)>0;Мода;"");

в объединенную ячейку C5 (D5,E5): =СЧЁТ(Размеры);

в объединенную ячейку C6 (D6,E6): =ЕСЛИ(СЧЁТ(Размеры)>0;НЕЧЁТ(1+3,2*LOG(СЧЁТ(Размеры)));0);

Логическая функция ЕСЛИ использована для того, чтобы рабочий лист

«Результаты расчета» выглядел корректно, даже при отсутствии значений на листе «Исходные данные». Функция НЕЧЁТ округляет расчетное количество интервалов до ближайшего нечетного значения. Ячейке D2 присвоено имя «Мини», ячейке D3 – имя «Макси», ячейке C6 – имя «Инт». В формулах использованы имена ячеек «Мода» и «Сигма», которые будут определены ниже.

Начиная с ячейки A9, вправо и вниз построим расчетную таблицу, как показано ниже (табл. 3):

Таблица 3

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
9		Результаты			100	1	8,6403	0,1331	
10	№ инт.	Нижн	Верхн	Средн	Частота	Вероятн.	Взвешен	Отклон	Гаусс
11	1	8,2730	8,3523	8,3127	2	0,0200	16,63	0,2147	0,0192
12	2	8,3523	8,4317	8,3920	5	0,0500	41,96	0,3083	0,0699
13	3	8,4317	8,5110	8,4713	9	0,0900	76,24	0,2570	0,1781
14	4	8,5110	8,5903	8,5507	18	0,1800	153,91	0,1447	0,3179
15	5	8,5903	8,6697	8,6300	24	0,2400	207,12	0,0026	0,3977
16	6	8,6697	8,7490	8,7093	21	0,2100	182,90	0,1000	0,3487
17	7	8,7490	8,8283	8,7887	13	0,1300	114,25	0,2861	0,2143
18	8	8,8283	8,9077	8,8680	7	0,0700	62,08	0,3629	0,0923
19	9	8,9077	8,9870	8,9473	1	0,0100	8,95	0,0943	0,0278

В расчетную таблицу, вместо числовых значений, записываем следующие формулы:

в ячейку B11: =МИНИ;

в ячейку C11: =B11+(МАКСИ-МИНИ)/ИНТ;

в ячейку B12: =C11;

в ячейки от B13 до B19 заносим копию содержимого ячейки B12;

в ячейки от C12 до C19 заносим копию содержимого ячейки C11. Значение, полученное в ячейке C19 должно быть равно значению в ячейке D3;

в ячейку D11: =(B11+C11)/2;

- в ячейки от D12 до D19 заносим копию содержимого ячейки D11;
- в ячейку E11: =СЧЁТ(K11:IV11);
- в ячейки от E12 до E19 заносим копию содержимого ячейки E11;
- в ячейку E11: =СЧЁТ(K11:IV11);
- в ячейки от E12 до E19 заносим копию содержимого ячейки E11;
- в ячейку E9: =СУММ(E11:E19). Значение, полученное в ячейке E9 после завершения формирования листа, должно быть равно значению, в ячейке C5;
- в ячейку F11: =E11/\$E\$9;
- в ячейки от F12 до F19 заносим копию содержимого ячейки F11;
- в ячейку F9: =СУММ(F11:F19). Значение, полученное в ячейке F9 после завершения формирования листа, должно быть равно 1;
- в ячейку G11: =E11*D11;
- в ячейки от G12 до G19 заносим копию содержимого ячейки G11;
- в ячейку G9: =ЕСЛИ(\$E\$9>0;СУММ(G11:G19)/\$E\$9;""). Ячейке G9 присваиваем имя «Мода»;
- в ячейку H11: =(D11-Мода)^2*E11;
- в ячейки от H12 до H19 заносим копию содержимого ячейки H11;
- в ячейку H9: =ЕСЛИ(\$E\$9>0;(СУММ(H11:H19)/\$E\$9)^0,5;""). Ячейке H9 присваиваем имя «Сигма»;
- в ячейку I11: =НОРМРАСП((D11-Мода)/Сигма;0;1;0);
- в ячейки от I12 до I19 заносим копию содержимого ячейки I11.

Для вычисления частот $m_i(1)$ в столбце E необходимо в столбцах K, L и далее до IV, составить вспомогательную таблицу следующим образом:

- в ячейки K10, L10 и далее до IV10 заносим целые числа 1, 2 и далее по порядку. Эти числа соответствуют порядковым номерам значений из диапазона «Размеры»;

в ячейку K11 заносим формулу: $=ЕСЛИ(И(ИНДЕКС(Размеры;K\$10)>=$
 $SB11;ИНДЕКС(Размеры;K\$10)<SC11);1;"");$

в ячейки от K12 до K19 копируем содержимое ячейки K11. В диапазоне K11:K19, в результате, должно быть видно только одно значение, равное единице – в строке, соответствующей интервалу значений для первого из диапазона «Размеры»;

в ячейки от L11 до IV19 копируем содержимое диапазона K11:K19. Количество единиц в каждой строке вспомогательной таблицы соответствует количеству значений из массива «Размеры» в соответствующих интервалах расчетной таблицы.

Вспомогательную таблицу можно сделать невидимой, выделив столбцы от K до IV и выбрав строку «СКРЫТЬ» в контекстном меню.

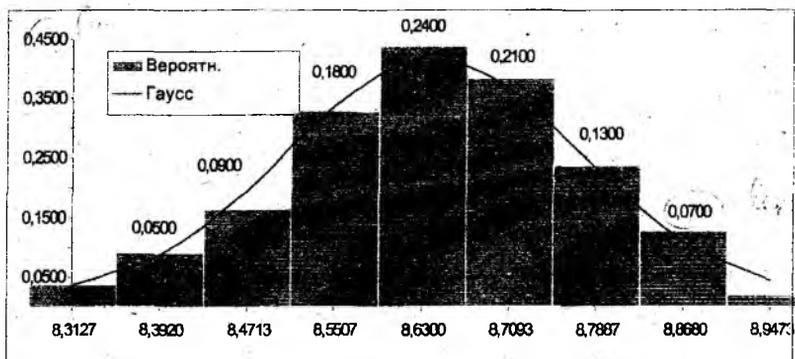


Рис. 1. Сравнение экспериментальных (гистограмма вероятностей) и расчетных (кривая нормального распределения Гаусса) данных. Таким образом, после выполнения всех манипуляций с листом «Результаты расчета», получаем значения математического ожидания

$\bar{X} = 8,64$ мм и среднеквадратичного отклонения $S = 0,133$ мм. Последний столбец расчетной таблицы позволяет сравнить значения вероятностей, рассчитанных по исходным значениям и после аппроксимации в соответствии с законом нормального распределения и построить сравнительный график (рис. 1).

Нанесем на расчетную кривую среднее значение и границы поля допуска (прил. 4) для размера 8,5 Н14, чтобы определить количество годных и бракованных деталей.

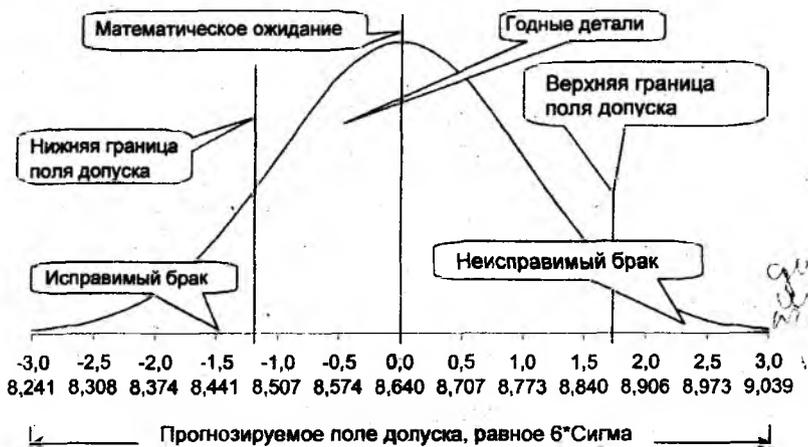


Рис. 2. Схема для определения количества годных и бракованных деталей

На схеме (рис. 2) видно, что детали, лежащие левее нижней границы поля допуска, представляют собой «исправимый» брак, так как после повторной обработки их размер может попасть в пределы поля допуска. Для определения количественных характеристик необходимо рассчитать площади криволинейных трапеций, ограниченных кривой Гаусса сверху, осью абсцисс снизу и соответствующими вертикальными или размерными линиями слева и справа.

Рассчитаем количество исправимого брака. Слева криволинейная трапеция ограничена нижней границей прогнозируемого поля допуска $\bar{X} - 3S = 8,241$ мм, справа – нижней границей заданного поля допуска, которая в долях среднеквадратичного отклонения равна $8,5 \text{ мм} = \bar{X} - 1,05S$. Площадь криволинейной трапеции (в процентах) можно подсчитать так:

$$\% \text{Исправимый} = \Phi(-1,05) - \Phi(-3), \quad (5)$$

где $\Phi(z)$ – интеграл вероятности (функция Лапласа) для случайной величины, не превышающей z . Интеграл вероятности определяется по таблицам (прил. 2) или посредством статистической функции MS Excel НОРМРАСП($z; 0; 1; 1$).

В рассматриваемом случае «исправимый» брак составляет 14,55 % всех изделий. Аналогичным образом, учитывая, что левая граница равна 8,5 мм или в долях среднеквадратичного отклонения $\bar{X} - 1,05S$, правая граница, соответственно, равна $8,86 \text{ мм} = \bar{X} - 1,65S$, можно определить количество годных изделий, равное 80,37%. Площадь области, находящейся справа от верхней границы поля допуска, равна количеству неисправимого брака и составляет 5,28 %.

Задача 2. Определить количество годных деталей по результатам контроля 100 % деталей, обработанных (табл. 4) с заданной точностью.

Таблица 4

Вариант	№ задания (прил. 1)	Вид поверхности	Квалитет	Поле допуска
1	1	Наружная	14	h
2	1	Внутренняя	14	H
3	1	Наружная	14	Js
4	1	Наружная	15	h
5	1	Внутренняя	15	H
6	1	Наружная	15	Js

Продолжение табл. 2

Вариант	№ задания (прил. 1)	Вид поверхности	Квалитет	Поле допуска
7	2	Наружная	8	h
8	2	Внутренняя	8	H
9	2	Наружная	8	Js
10	2	Наружная	9	h
11	2	Внутренняя	9	H
12	2	Наружная	9	Js
13	3	Наружная	10	h
14	3	Внутренняя	10	H
15	3	Наружная	10	Js
16	3	Наружная	11	h
17	3	Внутренняя	11	H
18	3	Наружная	11	Js
19	4	Наружная	15	h
20	4	Внутренняя	15	H
21	4	Наружная	15	Js
22	4	Наружная	16	h
23	4	Внутренняя	16	H
24	4	Наружная	16	Js
25	5	Наружная	8	h
26	5	Внутренняя	8	H
27	5	Наружная	8	Js
28	5	Наружная	9	h
29	5	Внутренняя	9	H
30	5	Наружная	9	Js

Задача 3. Определить количество бракованных деталей, подлежащих исправлению, по результатам контроля 100 % деталей, обработанных (табл. 4) с заданной точностью.

Задача 4. Определить количество бракованных деталей, не подлежащих исправлению, по результатам контроля 100 % деталей, обработанных (табл. 4) с заданной точностью.

Задача 5. Определить постоянную составляющую погрешности обработки детали в соответствии с данными (табл. 4). Оценить, как изменится количество годных деталей после компенсации постоянной погрешности.

Задача 6. Определить постоянную составляющую погрешности обработки детали в соответствии с данными (табл. 4). Оценить, как изменится количество негодных деталей, подлежащих исправлению, после компенсации постоянной погрешности.

Задача 7. Определить постоянную составляющую погрешности обработки детали в соответствии с данными (табл. 4). Оценить, как изменится количество негодных деталей, не подлежащих исправлению, после компенсации постоянной погрешности.

1.3. Составление математических моделей

Задача 8. Измерение сил резания при точении проводили при постоянных условиях обработки. В результате измерений получили следующие значения: 68,7; 68,3; 68,9; 68,6; 68,5; 68,7; 68,5; 68,7; 68,4 кгс. Полагая влияние случайных факторов постоянным, определить минимальное достаточное количество опытов с достоверностью 95 %.

Предположим, что измеряемые с определенной погрешностью значения $P_i = \{68,7; 68,3; 68,9; 68,6; 68,5; 68,7; 68,5; 68,7; 68,4\}$ группируются вокруг некоторого среднего значения \bar{P} и что закон распределения случайной величины P близок к нормальному. Существует некоторое пороговое количество повторений опыта n , при котором каждый следующий опыт несущественно изменяет статистические показатели измеряемой случайной величины P .

Полагая влияние случайных факторов постоянным, будем считать, что стабильность опытов оценивается по изменению величины среднего значения \bar{P} по мере повторения опытов. Обозначим через \bar{P}^{n-1} среднее

значение, рассчитанное по всем предыдущим опытам, а через \bar{P}^n среднее значение, определенное из всех опытов серии. Также будем считать, что количество опытов в серии не может быть меньше 3: $n \geq 3$. Влияние случайных погрешностей оцениваем по величине среднеквадратичного отклонения S_{n-1}^n . Верхний индекс показывает количество опытов в серии.

Стабильность средних значений случайной величины P можно оценить по величине критерия Стьюдента [8, 10]:

$$t = \frac{|\bar{P}_n - \bar{P}_{n-1}|}{S_{n-1}^n \cdot \sqrt{n}} \quad (6)$$

Гипотеза о несущественном изменении среднего значения при увеличении количества опытов от $n-1$ до n может считаться подтвержденной с достоверностью α , если значение критерия, определенное по формуле (6), не превышает табличного [8, 9, 10] значения $T_{n-1}(\alpha)$, для доверительной вероятности α и числа степеней свободы $n-1$. Следовательно:

$$n \geq \frac{(\bar{P}_n - \bar{P}_{n-1})^2}{T_{n-1}^2(\alpha) \cdot (S_{n-1}^n)^2} \quad (7)$$

Ход решения приведен в табл. 5:

Таблица 5

№	P_i	\bar{P}^n	\bar{P}^{n-1}	S_{n-1}^n	Критерий Стьюдента		Вывод
					расчетный	табличный	
1	68,70						
2	68,30						
3	68,90	68,633	68,500	0,31	0,2520	0,0708	Продолжаем
4	68,60	68,625	68,633	0,25	0,0167	0,0681	Достаточно
5	68,50	68,600	68,625	0,22	0,0500	0,0667	Достаточно
6	68,70	68,617	68,600	0,20	0,0333	0,0659	Достаточно
7	68,50	68,600	68,617	0,19	0,0329	0,0654	Достаточно
8	68,70	68,613	68,600	0,18	0,0244	0,0650	Достаточно
9	68,40	68,589	68,613	0,18	0,0429	0,0647	Достаточно

Из приведенной таблицы видно, что после четвертого измерения

величина среднего значения \bar{P}^n изменяется несущественно, то есть опыты можно считать стабильными. Другими словами, минимальное достаточное количество опытов равно четырем.

Для автоматизации расчета воспользуемся программой MS Excel.

В рабочей книге TMS.XLS создаем лист с названием «Количество опытов», на котором формируем таблицу, подобную табл. 3. В первых двух строках листа создаем заголовки столбцов расчетной таблицы. Ячейки таблицы заполняем следующим образом:

в ячейки A3:A11 заносим значения от 1 до 9;

в ячейки B3:B11 заносим замеренные значения сил резания;

в ячейку C5: =CPЗНАЧ(\$B\$3:\$B5);

в ячейки от C6 до C11 копируем содержимое ячейки C5;

в ячейку D5: =CPЗНАЧ(\$B\$3:\$B4);

в ячейки от D6 до D11 копируем содержимое ячейки D5;

в ячейку E5: =СТАНДОТКЛОН(\$B\$3:\$B5);

в ячейки от E6 до E11 копируем содержимое ячейки E5;

в ячейку F5: =СТАНДОТКЛОН(\$B\$3:\$B5);

в ячейки от F6 до F11 копируем содержимое ячейки F5;

в ячейку G5: =ABS(C5-D5)/(E5*СЧЁТ(\$B\$3:\$B5)^0,5);

в ячейки от G6 до G11 копируем содержимое ячейки G5;

в ячейку H5: =СТЫЮДРАСПОБР(0,95;СЧЁТ(\$B\$3:\$B5)-1);

в ячейки от H6 до H11 копируем содержимое ячейки H5;

в ячейку I5: =ЕСЛИ(G5<=H5;"Достаточно";"Продолжаем");

в ячейки от I6 до I11 копируем содержимое ячейки I5.

Расчет выполняется автоматически при изменении значений в ячейках B3:B11.

Задача 9. Измерение сил резания при точении проводили при постоянных условиях обработки. В результате измерений получили следующие значения: 68,7; 68,3; 68,9; 68,6; 68,4; 68,7; 68,5; 68,7; 68,4 кгс. Определить минимальное достаточное количество опытов с достоверностью 95 %, предполагая, что степень влияния случайных факторов может изменяться от опыта к опыту.

Полагаем, что стабильность опытов можно оценить по изменению величины среднеквадратичного отклонения случайной величины по мере повторения опытов. Обозначим через S^{n-1} среднеквадратичное отклонение, рассчитанное по всем предыдущим опытам, а через S^n среднеквадратичное отклонение, определенное из всех опытов серии. Существенность изменения среднеквадратичного отклонения оценивается по величине критерия Фишера [10]:

$$F = \begin{cases} \frac{S^{n-1}}{S^n} & , \text{если } S^{n-1} > S^n \\ \frac{S^n}{S^{n-1}} & , \text{если } S^{n-1} < S^n \end{cases} \quad (8)$$

Гипотеза о несущественном изменении среднеквадратичного отклонения при увеличении количества опытов от $n-1$ до n может считаться подтвержденной с достоверностью α , если значение критерия, определенное по формуле (8), не превышает табличного значения $F_{m,k}(\alpha)$, определенного по таблицам [8, 10] для доверительной вероятности α и чисел степеней свободы m и k . Число степеней свободы для F-распределения принимается на единицу меньше числа проведенных опытов, причем число степеней свободы m соответствует большему среднеквадратичному отклонению. Повторения опытов можно прекратить, если выполняется неравенство:

$$F_{m,k}(\alpha) \geq F. \quad (9)$$

Для решения задачи воспользуемся возможностями MS Excel.

В рабочей книге TMS.XLS создаем лист с названием «Количество опытов (Фишер)», на котором формируем расчетную таблицу (табл. 6).

В первых двух строках листа создаем заголовки столбцов расчетной таблицы. Ячейки таблицы заполняем следующим образом:

в ячейки A3:A11 заносим значения от 1 до 9;

в ячейки B3:B11 заносим измеренные значения сил резания;

в ячейку C5: =СТАНДОТКЛОН(\$B\$3:\$B5);

в ячейки от C6 до C11 копируем содержимое ячейки C5;

Таблица 6

1	№	В	С	D	E	F	G		H	I
							Критерий Фишера			
2		P_i	S_n^n	S_{n-1}^n	m	k	расчетный	табличный	Вывод	
3	1	68,70								
4	2	68,30								
5	3	68,90	0,31	0,28	2	1	1,0801	199,4995	Достаточно	
6	4	68,60	0,25	0,31	2	3	1,2220	9,5521	Достаточно	
7	5	68,50	0,22	0,25	3	4	1,1180	6,5914	Достаточно	
8	6	68,70	0,20	0,22	4	5	1,0954	5,1922	Достаточно	
9	7	68,50	0,19	0,20	5	6	1,0660	4,3874	Достаточно	
10	8	68,70	0,18	0,19	6	7	1,0593	3,8660	Достаточно	
11	9	68,40	0,18	0,18	8	7	1,0142	3,7257	Достаточно	

в ячейку D5: =СТАНДОТКЛОН(\$B\$3:\$B4);

в ячейки от D6 до D11 копируем содержимое ячейки D5;

в ячейку E5: =ЕСЛИ(C5>D5;A5-1;A5-2);

в ячейки от E6 до E11 копируем содержимое ячейки E5;

в ячейку F5: =ЕСЛИ(C5>D5;A5-2;A5-1);

в ячейки от F6 до F11 копируем содержимое ячейки F5;

в ячейку G5: =ЕСЛИ(E5<F5;C5/D5;D5/C5);

в ячейки от G6 до G11 копируем содержимое ячейки G5;

в ячейку H5: =ФРАСПОБР(1-0,95;E5;F5);

в ячейки от H6 до H11 копируем содержимое ячейки H5;

в ячейку I5: =ЕСЛИ(G5<=H5;"Достаточно";"Продолжаем");

в ячейки от I6 до I11 копируем содержимое ячейки I5.

Расчет выполняется автоматически при изменении значений в ячейках В3:В11.

Из табл. 6 видно, что минимальное достаточное количество опытов равно трем. Поскольку величина среднеквадратичного отклонения во всех измерениях изменяется несущественно, данная методика может давать заниженные значения.

Задача 10. Измерение сил резания при точении проводили при постоянных условиях обработки. В результате измерений получили следующие значения: 68,7; 68,3; 68,9; 68,6; 68,4; 68,7; 68,5; 68,7; 68,4 кгс. Определить минимальное достаточное количество опытов, считая, что все измеренные величины должны отличаться от среднего значения не более чем на 10 % с вероятностью не менее 95 %.

Условие задачи предполагает использование понятия «доверительный интервал». Доверительным [9, 10] называют интервал значений $\bar{P} \pm \delta$ случайной величины P , такой, что любое значение случайной величины, находящееся в границах интервала $[\bar{P} - \delta; \bar{P} + \delta]$, считается равным среднему значению \bar{P} с вероятностью α . Величина δ , называемая границей доверительного интервала, рассчитывается в зависимости от доверительной вероятности α , среднеквадратичного отклонения случайной величины σ и количества опытов n :

$$\delta = z \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (10)$$

где z – аргумент функции Лапласа (прил. 2) такой, что $\Phi(z) = \alpha$.

Отсюда, для известной допустимой погрешности опыта δ можно определить количество повторений опыта:

$$n \geq \frac{z \cdot \sigma}{\delta} \quad (11)$$

Для решения задачи воспользуемся возможностями MS Excel.

В рабочей книге TMS.XLS создаем лист с названием «Количество опытов (интервал)» и расчетную таблицу (табл. 7).

В первых двух строках листа создаем заголовки столбцов расчетной таблицы. Ячейки таблицы заполняем следующим образом:

в ячейки A3:A11 заносим значения от 1 до 9;

в ячейки B3:B11 заносим замеренные значения сил резания;

Таблица 7

1	№	B	C	D	E F		G
					Граница интервала		
2		P_i	\bar{P}^n	S_n^n	10 %	расчетная	Вывод
3	1	68,70					
4	2	68,30					
5	3	68,90	68,633	0,31	6,86	12,194	Продолжаем
6	4	68,60	68,625	0,25	6,86	8,630	Продолжаем
7	5	68,50	68,600	0,22	6,86	6,897	Продолжаем
8	6	68,70	68,617	0,20	6,86	5,746	Достаточно
9	7	68,50	68,600	0,19	6,86	4,988	Достаточно
10	8	68,70	68,613	0,18	6,86	4,404	Достаточно
11	9	68,40	68,589	0,18	6,86	4,210	Достаточно

в ячейку C5: =CPЗНАЧ(\$B\$3:\$B5);

в ячейки от C6 до C11 копируем содержимое ячейки C5;

в ячейку D5: =СТАНДОТКЛОН(\$B\$3:\$B5);

в ячейки от D6 до D11 копируем содержимое ячейки D5;

в ячейку E5: $=0,1 * C5$;

в ячейки от E6 до E11 копируем содержимое ячейки E5;

в ячейку F5: $=НОРМОБР(0,95;C5;D5)*D5/A5^0,5$;

в ячейки от F6 до F11 копируем содержимое ячейки F5;

в ячейку G5: $=ЕСЛИ(E5 <= F5; "Достаточно"; "Продолжаем")$;

в ячейки от G6 до G11 копируем содержимое ячейки G5.

Расчет выполняется автоматически при изменении значений в ячейках В3:В11.

Из табл. 7 видно, что минимальное достаточное количество опытов равно 6.

Задача 11. Для определения высоты микронеровностей на двойном микроскопе были сделаны замеры в пяти сечениях детали. Измерены следующие значения: 20,5 мкм, 20,9 мкм, 19,2 мкм, 20,3 мкм, 19,6 мкм. Достаточно ли сделанных замеров для оценки высоты микронеровностей с достоверностью 95 %. Влияние случайных погрешностей считать постоянным.

Задача 12. Для определения высоты микронеровностей на двойном микроскопе были сделаны замеры в пяти сечениях детали. Измерены следующие значения: 20,5 мкм, 20,9 мкм, 19,2 мкм, 20,3 мкм, 19,6 мкм. Достаточно ли сделанных замеров для оценки высоты микронеровностей с достоверностью 95 %, если набор и влияние случайных факторов меняются от опыта к опыту.

Задача 13. Сколько замеров высоты микронеровностей необходимо сделать для определения шероховатости по параметру Rz с вероятностью не менее 95 %. Предположительное значение $Rz=20$ мкм. Допустимая погрешность не более ± 2 мкм.

Задача 14. На двойном микроскопе контролируется шероховатость поверхности в пределах $Rz 20 \dots Rz 40$. Сколько замеров высоты

микронеровностей необходимо сделать для определения шероховатости по параметру R_z с вероятностью не менее 95 %.

Задача 15. Для определения высоты микронеровностей на двойном микроскопе были сделаны замеры в пяти сечениях детали. Измерены следующие значения: 81,2 мкм, 80,1 мкм, 79,2 мкм, 78,0 мкм, 80,6 мкм, 80,0 мкм, 81,1 мкм. Достаточно ли сделанных замеров для оценки высоты микронеровностей с достоверностью 90 %. Влияние случайных погрешностей считать постоянным.

Задача 16. Для определения высоты микронеровностей на двойном микроскопе были сделаны замеры в пяти сечениях детали. Измерены следующие значения: 81,2 мкм, 80,1 мкм, 79,2 мкм, 78,0 мкм, 80,6 мкм, 80,0 мкм, 81,1 мкм. Достаточно ли сделанных замеров для оценки высоты микронеровностей с достоверностью 95 %, если набор и влияние случайных факторов меняются от опыта к опыту.

Задача 17. Сколько замеров (см. условие задачи 16) достаточно сделать для определения R_z с достоверностью 90 % при постоянном влиянии случайных факторов.

Задача 18. Сколько замеров (см. условие задачи 16) достаточно сделать для определения R_z с достоверностью 90 % при меняющемся влиянии случайных факторов.

Задача 19. Сколько замеров (см. условие задачи 16) достаточно сделать для определения R_z с точностью до ± 10 %.

Задача 20. Сколько замеров (см. условие задачи 16) достаточно сделать для определения R_z с точностью до ± 5 %.

Задача 21. В табл. 1 приведены результаты измерений диаметров отверстий, обработанных одним инструментом на одном станке. Измерения производились в порядке обработки деталей. Полагая, что отклонение размера каждой детали от среднего значения всей партии изменяется

пропорционально времени, определить интенсивность изменения размеров. Оценить достоверность расчетов.

Поскольку предполагается пропорциональное изменение размера детали с течением времени, принимаем в качестве математической модели линейную зависимость вида

$$y = k \cdot n + b, \quad (12)$$

где n – порядковый номер детали. Этой величиной можно оценивать время, прошедшее от начала обработки всей партии деталей;

y – отклонение размера детали от среднего;

k – интенсивность изменения размеров;

b – постоянная составляющая отклонения.

Параметры k и b можно определять с помощью стандартных статистических функций MS Excel **НАКЛОН()** и **ОТРЕЗОК()**.

Последовательность действий при решении задачи:

на чистом рабочем листе заполним 100 ячеек столбца **A** (в диапазоне **A2:A101**) целыми числами от 1 до 100;

в ячейки **B2:B101** заносим значения замеренных размеров в порядке измерений;

в ячейку **B1** заносим функцию: **=СРЗНАЧ(B2:B101)**;

в ячейку **C2**: **=B2-B\$1**;

в ячейки от **C3** до **C101** копируем содержимое ячейки **C2**;

в ячейку **C1** заносим строку: **'y=**;

в ячейку **D1**: **=НАКЛОН(B2:B101;A2:A101)**;

в ячейку **E1**: **"n+;**

в ячейку **F1**: **=ОТРЕЗОК(C2:C101;A2:A101)**;

в ячейку **D2**: **=\$D\$1*A2+\$F\$1**;

в ячейки от **D3** до **D101** копируем содержимое ячейки **D2**.

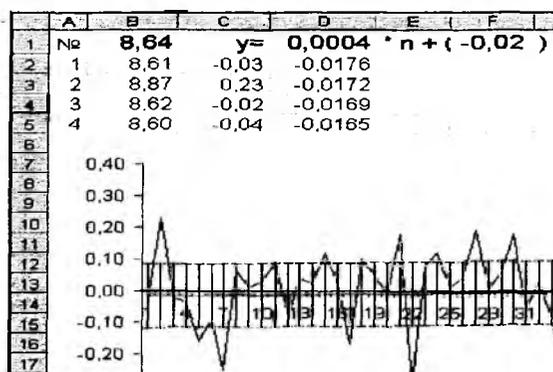


Рис. 3. Фрагмент рабочего листа
Внешний вид рабочего листа представлен на рис. 3.

Таким образом, в ячейках C2:C101 размещаются измеренные значения отклонений размеров от среднего, в ячейках D2:D101 – рассчитанные по математической модели вида (12), а в ячейках D1 и F1 – параметры математической модели. Судить о достоверности построений можно по графику (рис. 3), или сделав статистическую оценку достоверности, как было показано выше.

1.4. Оценка степени взаимного влияния процессов

Для оценки степени влияния условий протекания процесса на его результаты используется статистический показатель, называемый коэффициентом корреляции. Коэффициент корреляции [8, 9, 10] представляет собой вероятность закономерного изменения результата (случайная величина Y) при изменении условий протекания процесса (случайная величина X). Абсолютное значение коэффициента корреляции должно находиться в интервале $[0; 1]$. А с учетом возможности обратного влияния, то есть закономерного уменьшения Y при увеличении X коэффициент корреляции принимает значения в диапазоне $[-1; 1]$.

Коэффициент корреляции рассчитывается в зависимости от величин среднеквадратичных отклонений случайных величин X и Y :

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n\sigma_x\sigma_y} \quad (13)$$

или

$$R_{xy} = \frac{\overline{XY} - \bar{X} \cdot \bar{Y}}{n\sigma_x\sigma_y}, \quad (14)$$

где n – количество значений случайных величин X и Y ;

\bar{X}, \bar{Y} – средние значения случайных величин X и Y , соответственно;

\overline{XY} – среднее значение попарных произведений случайных величин X и Y ;

σ_x, σ_y – среднеквадратичные отклонения случайных величин X и Y , соответственно.

Достоверность коэффициента корреляции проверяется по критерию Стьюдента:

$$t = \frac{|\bar{X} - \bar{Y}| \cdot \sqrt{n}}{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}}, \quad (15)$$

величину которого сравнивают с табличной (прил. 3) величиной $T_{n-1}(\alpha)$, определенной для количества степеней свободы $n-1$ с достоверностью α .

Если расчетная величина превышает табличную, делают вывод о статистической значимости коэффициента корреляции R , то есть о неслучайной зависимости между X и Y .

Задача 22. На склад готовой продукции поступила партия деталей. К этому времени на складе уже имелись две партии изделий, изготовленных станочниками Ивановым и Петровым. Размеры всех деталей, замеренные

в последовательности изготовления, приведены в табл. 8. Требуется определить, кто изготовил новую партию.

Таблица 8

№ детали	Иванов			Петров			Новая партия		
	Размер,	Размер до обра-	При-	Размер,	Размер до обра-	При-	Размер,	Размер до обра-	При-
	мм	ботки, мм	пуск, мм	мм	ботки, мм	пуск, мм	мм	ботки, мм	пуск, мм
1	120,20	122,28	2,08	120,10	122,21	2,11	120,21	122,30	2,09
2	120,21	122,29	2,08	120,10	122,21	2,11	120,22	122,31	2,09
3	120,10	122,18	2,08	120,20	122,31	2,11	120,20	122,29	2,09
4	120,15	122,23	2,08	120,30	122,41	2,11	120,20	122,29	2,09
5	120,40	122,51	2,11	120,10	122,21	2,11	120,18	122,27	2,09
6	120,21	122,32	2,11	120,30	122,41	2,11	120,19	122,28	2,09
7	120,18	122,29	2,11	120,60	122,70	2,10	120,18	122,27	2,09
8	120,20	122,31	2,11	120,10	122,20	2,10	120,30	122,39	2,09
9	120,10	122,30	2,20	120,00	122,10	2,10	120,40	122,57	2,17
10	120,18	122,29	2,11	120,00	122,10	2,10	120,20	122,29	2,09
11	120,19	122,30	2,11	120,40	122,50	2,10	120,21	122,34	2,13
12	120,30	122,41	2,11	120,34	122,41	2,07	120,10	122,23	2,13
13	120,18	122,38	2,20	120,20	122,30	2,10	120,15	122,28	2,13
14	120,22	122,33	2,11	120,20	122,20	2,00	120,40	122,57	2,17
15	120,21	122,32	2,11	120,26	122,36	2,10	120,21	122,34	2,13
16	120,22	122,33	2,11	120,19	122,29	2,10	120,32	122,45	2,13
17	120,20	122,20	2,00	120,24	122,34	2,10	120,31	122,44	2,13
18	120,20	122,20	2,00	120,26	122,36	2,10	120,24	122,34	2,10
19	120,18	122,18	2,00	120,26	122,36	2,10	120,25	122,35	2,10
20	120,19	122,39	2,20	120,10	122,17	2,07	120,23	122,53	2,30
21	120,18	122,18	2,00	120,34	122,44	2,10	120,22	122,39	2,17
22	120,30	122,30	2,00	120,35	122,45	2,10	120,20	122,30	2,10
23	120,40	122,40	2,00	120,00	122,10	2,10	120,18	122,33	2,15
24	120,32	122,52	2,20	120,32	122,32	2,00	120,20	122,37	2,17
25	120,31	122,31	2,00	120,34	122,54	2,20	120,10	122,25	2,15
26	120,24	122,24	2,00	120,20	122,27	2,07	120,18	122,36	2,18
27	120,25	122,45	2,20	120,20	122,27	2,07	120,19	122,31	2,12
28	120,23	122,23	2,00	120,26	122,33	2,07	120,30	122,60	2,30
29	120,22	122,42	2,20	120,19	122,39	2,20	120,18	122,48	2,30
30	120,20	122,20	2,00	120,24	122,34	2,10	120,22	122,35	2,13

Краткая формулировка условия задачи: «Имеются две группы числовых последовательностей (припуск), содержащих по тридцать значений, и группа,

которая является сравниваемой. Требуется определить номер группы, значениям которой в наибольшей степени соответствуют значения сравниваемой группы. Определить степень соответствия групп можно по соответствию статистических критериев: средних арифметических (математических ожиданий), средних квадратичных значений и дисперсий последовательностей и по величине коэффициента корреляции значений последовательностей, составляющих группу.»

Таблица 9

Статистический показатель	Иванов			Петров			Новая партия		
	Размер,	Размер до обработки,	Припуск,	Размер,	Размер до обработки,	Припуск,	Размер,	Размер до обработки,	Припуск,
	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
Среднее значение	120,222	122,309	2,0873	120,223	122,320	2,0970	120,222	122,362	2,1400
Среднеквадратичное значение	0,0690	0,0919	0,0725	0,1275	0,1330	0,0387	0,0690	0,0987	0,0607
Дисперсия	0,0048	0,0084	0,0053	0,0163	0,0177	0,0015	0,0048	0,0098	0,0037
Корреляция партий			0,1923			-0,0270			
Корреляция внутри партии			0,6711			0,2846			0,7238

В табл. 9 показаны значения статистических показателей, определяющих корректность исходных данных. Вероятные минимальные и максимальные предельные значения элементов числовых последовательностей определены [8] в границах $\bar{X} \pm 3\sigma$, что обеспечивает попадание случайной величины в интервал рассеяния с вероятностью 0,997.

Сравнение коэффициентов корреляции, рассчитанных для новой партии изделий относительно партий «Иванов» ($R_{Иванов} = 0,192$) и «Петров» ($R_{Петров} = -0,027$), доказывает, что новая партия изделий вероятнее всего

выполнена Ивановым. Такой вывод можно сделать, поскольку $\frac{R_{Иванов}}{R_{Петров}} = 7,12$,

то есть различия существенны. Данный вывод подтверждается также сравнением коэффициентов корреляции, рассчитанных для параметров каждой из партий деталей:

$$R'_{Иванов} = 0,6711;$$

$$R'_{Петров} = 0,2846;$$

$$R'_{Новик} = 0,7238.$$

Видно, что корреляция параметров деталей в новой партии ближе к изделиям Иванова.

Задача 23. В результате замены марки СОЖ при лезвийной обработке ожидается увеличение периода стойкости инструмента. Результаты измерения стойкости до и после замены СОЖ представлены в табл. 10. Определить характер изменения стойкости (повышается или понижается) и оценить наличие закономерности изменения с заменой СОЖ с заданной доверительной вероятностью. Значения стойкости и величина доверительной вероятности выбираются в соответствии с данными табл. 11.

Таблица 10

Стойкость инструмента, мин					
СОЖ1		СОЖ2		СОЖ3	
до замены СОЖ	после замены СОЖ	до замены СОЖ	после замены СОЖ	до замены СОЖ	после замены СОЖ
24,5	24,8	30,0	29,8	45,1	45,6
24,50	24,80	30,00	29,80	45,10	44,61
24,94	24,14	30,92	29,37	44,21	45,60
25,82	23,93	29,43	30,93	45,57	45,14
25,26	25,69	30,97	31,94	46,39	44,81
24,74	25,02	29,98	30,42	44,83	44,82
24,46	24,59	30,58	31,48	44,12	44,87
25,90	23,25	29,62	29,68	46,40	44,92
24,42	23,73	30,16	29,76	45,97	44,61

Продолжение табл. 10

СОЖ1		СОЖ2		СОЖ3	
до замены СОЖ	после замены СОЖ	до замены СОЖ	после замены СОЖ	до замены СОЖ	после замены СОЖ
24,26	24,75	30,08	31,41	44,17	43,95
25,53	25,65	29,29	31,75	44,53	43,40
24,72	25,01	29,81	31,68	46,77	45,60
24,44	23,00	29,99	30,02	44,91	43,78
24,56	25,78	30,40	30,19	45,27	43,23
25,67	24,98	29,65	30,15	44,27	43,67
24,23	24,76	30,19	31,11	44,83	44,34
24,35	24,29	29,06	30,53	45,70	43,33
25,80	25,77	30,98	31,88	46,28	43,17
24,62	25,86	30,71	29,10	46,63	45,70
24,81	24,71	29,99	29,51	46,98	43,63
24,61	25,23	29,30	30,07	46,31	43,96
25,04	23,34	30,83	30,57	46,86	43,39
24,22	25,65	29,40	30,40	44,37	45,92
24,71	25,53	30,95	29,55	46,00	44,78
25,72	24,52	30,25	30,31	45,51	43,59
24,86	23,24	29,73	29,62	44,66	44,97
25,78	25,59	30,25	30,22	46,08	44,07
24,59	23,38	29,86	30,54	46,45	44,24
24,81	24,11	30,22	30,06	44,93	43,97
25,35	23,03	30,88	30,38	45,88	44,58
24,51	25,11	30,96	29,56	46,01	44,19
24,71	23,54	30,91	30,61	46,76	44,74
24,53	24,53	29,03	29,58	46,44	44,54
24,38	24,84	30,93	30,09	44,12	45,02
24,35	25,99	30,67	31,79	44,47	45,35
25,98	24,28	30,24	30,96	45,36	44,19
25,61	23,89	30,81	29,96	45,95	45,33
24,53	23,67	29,94	29,58	44,54	44,91
24,72	23,65	29,50	31,80	45,07	45,10
25,56	25,89	29,62	29,90	44,51	45,38
24,60	23,59	29,42	31,11	45,32	44,28
24,53	25,18	29,66	31,85	46,58	43,06
24,88	25,75	30,44	30,97	46,34	45,10
24,83	25,03	30,52	30,84	44,22	44,90
24,06	24,29	30,80	30,36	46,56	43,51
25,86	24,68	29,14	30,47	46,43	45,11

Продолжение табл. 10

СОЖ1		СОЖ2		СОЖ3	
до замены СОЖ	после замены СОЖ	до замены СОЖ	после замены СОЖ	до замены СОЖ	после замены СОЖ
25,38	24,76	29,64	30,81	44,71	44,12
25,39	25,31	29,05	29,28	44,57	43,48
25,62	25,52	30,79	31,05	44,69	44,76
25,01	23,57	30,42	29,23	45,27	43,42
24,31	23,34	30,34	29,84	46,84	44,67
25,96	24,57	30,74	30,01	44,45	43,85

Таблица 11

№ варианта	1	2	3	4	5	6
Выбор СОЖ (табл. 8)	СОЖ1	СОЖ2	СОЖ3	СОЖ1	СОЖ2	СОЖ3
Доверительная вероятность	0,97	0,97	0,97	0,92	0,92	0,92
№ варианта	7	8	9	10	11	12
Выбор СОЖ (табл. 8)	СОЖ1	СОЖ2	СОЖ3	СОЖ1	СОЖ2	СОЖ3
Доверительная вероятность	0,95	0,95	0,95	0,9	0,9	0,9

2. Размерный анализ технологических процессов

Технологическая размерная цепь выражает связь размеров заготовки и обрабатываемой детали по мере выполнения технологического процесса. Замыкающими звеньями технологических размерных цепей являются размеры, которые в процессе обработки не выдерживаются, а получаются в результате выполнения других составляющих звеньев. Как правило, замыкающим звеном является припуск на обработку или конструкторский размер детали, непосредственно не обрабатываемый по технологическому процессу. Составляющими звеньями технологических размерных цепей, обычно, являются размеры заготовки, операционные размеры и, реже, припуски на обработку (табл. 12).

Таблица 12

Группа	Вид размера	Характеристика размера [5, 7]	Условное обозначение
0	Замыкающий	припуск или размер с искомыми предельными значениями; используется при проверочных расчетах	

Группа	Вид размера	Характеристика размера [5, 7]	Условное обозначение
1	Замыкающий	размер с проверяемыми предельными значениями; величина погрешности взаимного расположения поверхностей	
2	Замыкающий	припуск с заданным минимальным и произвольным максимальным предельными значениями	
3	Замыкающий	окончательный размер или смещение оси с заданными предельными значениями; при обработке не настраивается	
4	Замыкающий	размер с произвольным минимальным и заданным максимальным предельными значениями; величина погрешности взаимного расположения	
6	Составляющий	промежуточный операционный размер или размер заготовки с заданными предельными отклонениями и определяемым номинальным значением	
7	Составляющий	промежуточный операционный размер или размер заготовки с заданными номиналом и предельными отклонениями, например в случае обработки мерным инструментом	
8	Составляющий	окончательный операционный размер с заданным номиналом и предельными отклонениями	
9	Конструкторский	размер на чертеже готовой детали	

В основе размерного анализа технологических процессов лежит выявление и расчет технологических размерных цепей. Целями размерного анализа являются:

1. Установление технологически обоснованных размеров и технических требований на все операции технологического процесса.
2. Определение предельных размеров припусков и размеров заготовки для последующей механической обработки.

3. Обеспечение рациональной последовательности обработки отдельных поверхностей детали, обеспечивающей требуемую точность размеров.

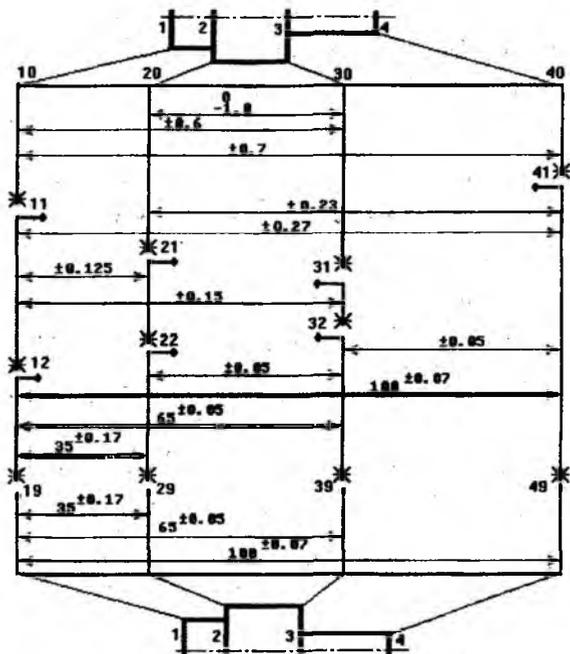


Рис. 4. Расчетная схема технологического процесса

Правильность составления расчетной схемы (рис. 4) проверяется по следующим условиям:

1. Количество размеров на эскизах заготовки и готовой детали должно быть на единицу меньше количества поверхностей, на соответствующих эскизах.
2. Каждая поверхность, "возникающая" на расчетной схеме, должна быть связана единственным размером с какой-либо "существующей" поверхностью.

3. Каждому размеру готовой детали должен соответствовать единственный окончательный (операционный или замыкающий) размер.
4. Количество операционных промежуточных размеров и размеров заготовки должно быть равно количеству замыкающих размеров, в качестве которых могут назначаться припуски и окончательные замыкающие размеры.

После составления расчетной схемы переходим к выявлению технологических размерных цепей. Размерные цепи составляются по следующим правилам:

выявление размерных цепей начинают с последней операции технологического процесса, то есть снизу вверх по расчетной схеме;

каждая размерная цепь может содержать только одно замыкающее звено;

для выявления технологической размерной цепи выбирается замыкающее звено (припуск или размер готовой детали) и по расчетной схеме определяются составляющие звенья, образующие с замыкающим звеном замкнутый контур;

количество выявленных технологических размерных цепей должно быть равно количеству замыкающих звеньев, определенных на расчетной схеме.

Каждая размерная цепь, выявленная на расчетной схеме, записывается, с использованием условных обозначений, следующим образом. Вначале записываем номера левой и правой границ замыкающего звена, разделенные знаком равенства. Например, запись $12=22$ обозначает замыкающий окончательный размер между опорными линиями 12 и 22 на расчетной схеме. От правой границы замыкающего звена указывается направление обхода расчетной схемы – направо ($>$) или налево ($<$) и номер следующей опорной линии. Таким образом, в записи технологической размерной цепи появляется обозначение очередного составляющего звена. Например, запись

22>32 в обозначении размерной цепи показывает размерную связь между второй и третьей опорными линиями, причем обход расчетной схемы выполняется слева направо, а запись 41<12 – размерную связь между первой и четвертой опорными линиями, причем обход расчетной схемы выполняется справа налево.

Обход расчетной схемы продолжается до тех пор, пока не будет построен замкнутый контур, так что последнее число в условном обозначении технологической размерной цепи покажет номер левой границы замыкающего звена.

Расчет технологических размерных цепей может быть выполнен вручную, с использованием общепринятой методики расчета [5, 7], или с использованием средств вычислительной техники. В любом случае, целью расчета является определение предельных размеров припусков, размеров заготовки и промежуточных операционных размеров, а также проверка допусков и предельных величин размеров готовой детали. Для проверки точности окончательных размеров технологического процесса рассчитывают запасы по предельным значениям [5] конструкторских размеров для окончательных замыкающих звеньев размерных цепей. При отрицательной величине запасов (так называемых «дефицитах») говорят о невозможности достижения точности, заданной конструктором. В этом случае следует ужесточить допуски промежуточных операционных размеров, составляющих рассматриваемые технологические цепи или изменить структуру разработанного технологического процесса.

2.1. Линейные размерные цепи, построенные для осевых размеров

Задача 24. Выполнить размерный анализ технологического процесса обработки торцовых поверхностей ступенчатого вала на предварительно настроенных станках. Оценить работоспособность технологического

процесса. Предложить мероприятия, позволяющие обеспечить работоспособность технологического процесса.

Вариант обработки и необходимая размерная информация выбираются из табл. 14 и рисунков (прил. 5) в соответствии с вариантом (табл. 13).

Таблица 13

<i>Вариант задания</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
№ строки по табл. 14	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
№ рисунка (прил. 5)	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
<i>Вариант задания</i>	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
№ строки по табл. 14	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
№ рисунка (прил. 5)	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
<i>Вариант задания</i>	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
№ строки по табл. 14	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5
№ рисунка (прил. 5)	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
<i>Вариант задания</i>	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
№ строки по табл. 14	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1
№ рисунка (прил. 5)	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6

Таблица 14

№	Значения предельных отклонений (мм) для номинальных размеров												
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	L	M	N	O
1	опр.	+0,5	+0,7	+0,23	+0,27	+0,13	+0,15	+0,05	+0,1	+0,07	+0,05	+0,05	+0,07
	-1,0	-0,5	-0,7	-0,23	-0,27	-0,13	-0,15	-0,05	опр.	-0,07	-0,05	-0,05	-0,07
2	+0,7		1,4	+0,46		+0,13	+0,2	+0,1	+0,05	+0,07	+0,1		+0,07
	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	35	60	100
3	+0,5	+1,0			+0,27	+0,26	+0,3			+0,07		+0,05	+0,07
	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	35	45	100
4	+1,0	+0,7	+0,7	+0,23	+0,54	+0,26		+0,05	+0,05	+0,07	+0,05	+0,1	+0,07
	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	35	55	100
5	+1,0	+0,7	+0,7	+0,23	+0,54	+0,26		+0,05	+0,05	+0,07	+0,1		+0,07
	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	опр.	25	55	100
	-0,7	-0,7	-0,7	-0,23			-0,3	-0,05	-0,05	-0,07		-0,1	-0,07

№	Значения предельных отклонений (мм) для номинальных размеров												
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	L	M	N	O
6	+1,0 опр.	+0,7 опр. -0,7	+0,7 опр. -0,7	+0,23 опр. -0,23	+0,54 опр.	+0,26 опр.	опр. -0,3	+0,05 опр. -0,05	+0,05 опр. -0,05	опр. -0,14	+0,05 35 -0,05	+0,1 60	100 -0,14
7	+1,0 опр.	+0,7 опр. -0,7	+0,7 опр. -0,7	+0,23 опр. -0,23	+0,54 опр.	+0,26 опр.	опр. -0,3	+0,05 опр. -0,05	+0,05 опр. -0,05	+0,07 опр. -0,07	55 -0,1	+0,05 35 -0,05	+0,07 100 -0,07
8	+0,7 опр. -0,7	опр. -1,0	1,4 опр.	+0,46 опр.	опр. -0,54	+0,13 опр. -0,13	+0,2 опр. -0,1	+0,1 опр.	+0,05 опр. -0,05	+0,14 опр.	+0,1 35	60	+0,14 100 -0,1

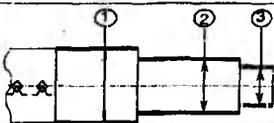
опр. – номинальное значение размера определяется в результате расчета

2.2. Линейные размерные цепи, построенные для диаметральных размеров

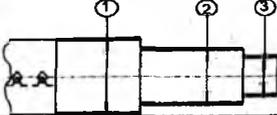
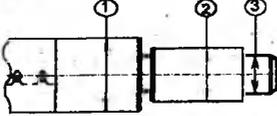
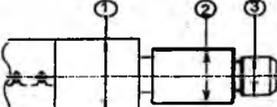
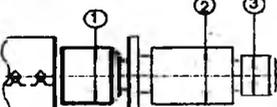
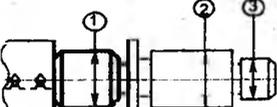
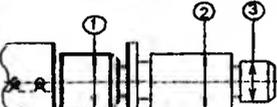
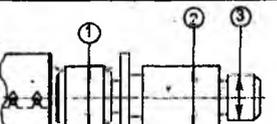
Задача 25. Проверить возможность получения несоосности поверхн. 1, 3 в пределах 0,1 мм при изготовлении ступенчатого вала (прил. 6) в соответствии с маршрутным технологическим процессом, представленным в табл. 15

Таблица 15

Технологическая операция	Содержание операции
000 Заготовительная	Прокат круглый горячекатаный (ГОСТ 4543-71)
005 Отрезная	Станок абразивно-отрезной Круг шлифовальный отрезной Отрезать заготовку на длину 4000 мм
010 Токарная Обработка по позициям	Токарный восьмишпиндельный горизонтальный прутковый автомат 1A240-8
10.1	Обточить поверхн. 1, 2, 3 Резцы проходные с главным углом в плане 92°



Продолжение табл. 15

Технологическая операция	Содержание операции
10.2 	Обточить поверхн. 1, 2, 3 Резцы проходные с главным углом в плане 92°
10.3 	Обточить поверхн. 3, точить фаску и канавку. Резец проходной с главным углом в плане 92° , канавочный, фасочный
10.4 	Обточить поверхн. 2, точить канавку Резцы проходной, канавочный
10.5 	Точить поверхн. 1 начерно с одновременной проточкой фасок и канавки Резец фасочный
10.6 	Точить поверхн. 1 с одновременной проточкой фасок и канавки Резец фасочный
10.7 	Точить поверхн. 1 начисто с одновременной проточкой фасок и канавки. Резец фасочный
10.8 	Отрезать деталь от прутка Резец отрезной
015 Слесарная	Притупить острые кромки
020 Контрольная	Проверить соответствие чертежу

При составлении расчетной схемы технологического процесса необходимо учитывать, что, кроме цилиндрических поверхностей детали, в формировании погрешностей участвуют и оси каждого из цилиндров, которые рассматриваются как псевдоповерхности. Номера таких

псевдоповерхностей складываются из номера опорной линии «основной» поверхности, к которому справа приписываем нуль, и порядкового номера технологического перехода. Например, поверхности заготовки (10) соответствует ось (100), а поверхности (13), полученной в результате трехкратной обработки, соответствует ось (103). Следует иметь в виду, что «появление» новой поверхности в результате удаления припуска или напуска на осесимметричной поверхности обязательно сопровождается «возникновением» на схеме новой оси. В результате влияния погрешностей заготовки и приспособления новая ось, как правило, смещается относительно существовавшей ранее. Максимальная величина этого смещения определяется как геометрическая сумма пространственных погрешностей заготовки, погрешности приспособления и погрешности закрепления в диаметральном направлении.

Искомый размер представляет собой, по общепринятой классификации [5, 7], окончательный замыкающий размер, относящийся к третьей (табл. 12) группе. В процессе расчета размерной цепи уточняются все параметры таких размерных связей.

Для уточнения характеристик размерной связи $203=403$ (рис. 5) составляем уравнение размерной цепи: $203 = 403 < 100 > 203$, в которую входят погрешности установки и закрепления детали в позициях 10.3, 10.7 и погрешность формы заготовки (искривление оси) перед выполнением токарной операции. Учитывая, что токарная обработка выполняется на многошпиндельном станке и деталь закрепляется для обработки один раз, можно считать погрешности установки и закрепления в позициях 10.3 и 10.7 равными. Считая суммарные погрешности на каждом из переходов не превышающими 0,08 мм, определим несоосность, как допуск замыкающего звена размерной цепи: $T_{203-403} = T_{100-403} + T_{100-203} = 0,16$ мм.

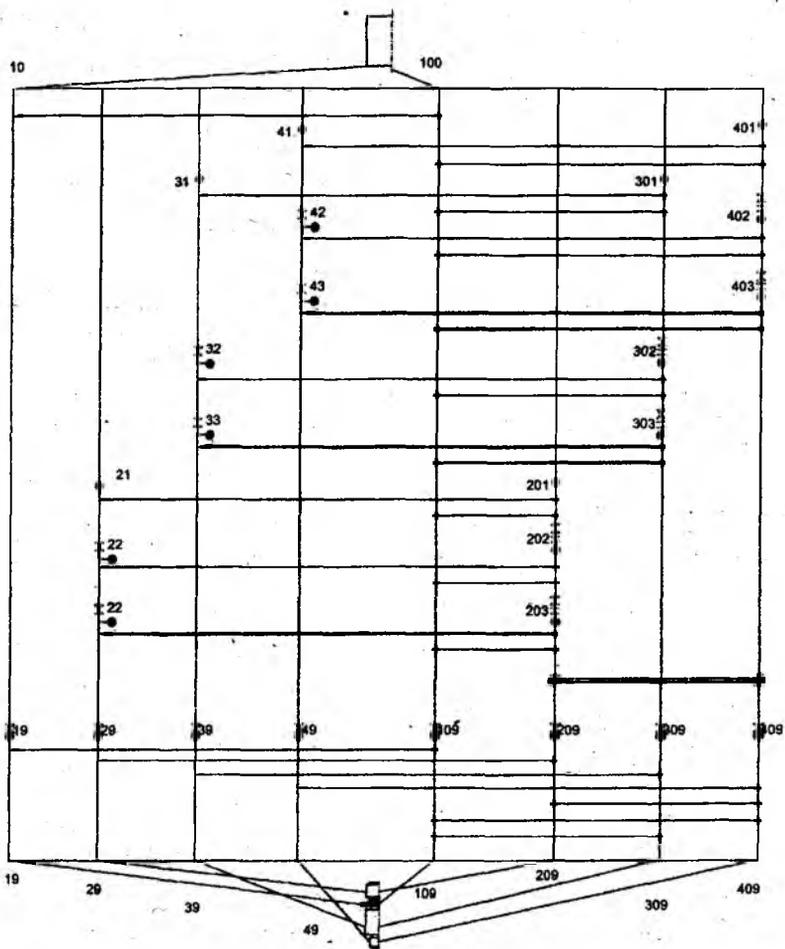


Рис. 5. Расчетная схема технологического процесса обработки диаметральных размеров ступенчатого вала

Из расчета видно, что расчетное значение превышает заданное (0,1 мм), то есть дефицит составляет 0,06 мм. Технологический процесс не обеспечивает заданной точности детали.

Полагая расчетную величину допуска замыкающего звена достаточной

для обеспечения требуемой надежности технологического процесса (вероятность получения годных изделий не менее 99,73 %), можно определить прогнозируемый процент брака (см. разд. 1.2).

Таблица 16

№ строки	Номиналы и пред. отклонения диаметров вала (прил. 6)				
	C	D	E	F	H
1	0	+1,6	0	0	0
	16	опр	14	10	12
	-0,11	-0,8	-0,11	-0,11	-0,11
2	+0,05	+1,6	0	+0,11	+0,05
	22	опр	20	16	18
	-0,05	-0,8	-0,11	0	-0,05
3	0	+1,6	+0,05	+0,05	+0,05
	14	опр	14	12	12
	-0,11	-0,8	-0,05	-0,05	-0,05
4	+0,05	+1,6	+0,05	0	0
	12	опр	14	12	12
	-0,05	-0,8	-0,05	-0,11	-0,11

Задача 26. Определить фактическую несоосность диаметров C и F при изготовлении детали (прил. 6) на многошпиндельном токарном прутковом автомате. Значения размеров выбираются из табл. 16.

Задача 27. Определить диаметр круглого горячекатаного проката для изготовления детали (прил. 6) на многошпиндельном токарном прутковом автомате. Значения размеров выбираются из табл. 16.

Задача 28. Рассчитать максимальные припуски на наружные цилиндрические поверхности детали (прил. 6), изготовленной на многошпиндельном токарном прутковом автомате. Значения размеров выбираются из табл. 16.

Задача 29. Определить настроечные размеры для обработки наружных диаметров детали (прил. 6) на многошпиндельном токарном прутковом автомате. Значения размеров выбираются из табл. 16.

Задача 30. Определить фактическую несоосность диаметров C и F при

- изготовлении детали (прил. 6) на универсальном токарно-винторезном станке. Значения размеров выбираются из табл. 16.
- Задача 31. Определить диаметр круглого горячекатаного проката для изготовления детали (прил. 6) на универсальном токарно-винторезном станке. Значения размеров выбираются из табл. 16.
- Задача 32. Рассчитать максимальные припуски на наружные цилиндрические поверхности детали (прил. 6), изготовленной на универсальном токарно-винторезном станке. Значения размеров выбираются из табл. 16.
- Задача 33. Определить настроечные размеры для обработки наружных диаметров детали (прил. 6) на универсальном токарно-винторезном станке. Значения размеров выбираются из табл. 16.
- Задача 34. Определить фактическую несоосность диаметров С и F при изготовлении детали (прил. 6) на многорезцовом токарном полуавтомате. Деталь устанавливается в центра. Значения размеров выбираются из табл. 16.
- Задача 35. Определить диаметр круглого горячекатаного проката для изготовления детали (прил. 6) на многорезцовом токарном полуавтомате. Деталь устанавливается в центра. Значения размеров выбираются из табл. 16.
- Задача 36. Рассчитать максимальные припуски на наружные цилиндрические поверхности детали (прил. 6), изготовленной на многорезцовом токарном полуавтомате. Деталь устанавливается в центра. Значения размеров выбираются из табл. 16.
- Задача 37. Определить настроечные размеры для обработки наружных диаметров детали (прил. 6) на многорезцовом токарном полуавтомате. Деталь устанавливается в центра. Значения размеров выбираются из табл. 16.

3. Комплексные задачи

Задача 38. Используя размерный анализ, определить по технологическому процессу вероятный процент брака и рассчитать постоянную составляющую систематической погрешности при обработке торцовых поверхностей. Определить, на сколько увеличится выпуск годных изделий после корректировки постоянной погрешности.

Вариант обработки и необходимая размерная информация выбираются из табл. 14 и рисунков (прил. 5) в соответствии с вариантом (табл. 13).

Задача 39. Используя размерный анализ, определить по технологическому процессу вероятный процент брака и рассчитать постоянную составляющую систематической погрешности при обработке наружных цилиндрических поверхностей ступенчатого вала (прил. 6). Определить, на сколько увеличится выпуск годных изделий после корректировки постоянной погрешности.

Вариант обработки и необходимая размерная информация выбираются из табл. 16.

Задача 40. Используя размерный анализ, определить по технологическому процессу вероятный процент брака и рассчитать постоянную составляющую систематической погрешности при обработке торцовых поверхностей. Предложить и обосновать расчетом мероприятия по ликвидации брака.

Вариант обработки и необходимая размерная информация выбираются из табл. 14 и рисунков (прил. 5) в соответствии с вариантом (табл. 13).

Задача 41. Используя размерный анализ, определить по технологическому процессу вероятный процент брака и рассчитать постоянную составляющую систематической погрешности при обработке наружных цилиндрических поверхностей ступенчатого вала (прил. 6). Предложить и обосновать расчетом мероприятия по ликвидации брака.

Вариант обработки и необходимая размерная информация выбираются из табл. 16.

4. Компьютерная графика

При разработке прикладных систем автоматизированного проектирования (САПР), например САПР технологической оснастки, инструмента, одним из основных действий проектировщика является работа с геометрическими объектами. К ним относятся сборочные единицы, детали, конструктивные элементы деталей (пазы, канавки, лыски и пр.), а также геометрические примитивы (точки, линии, окружности, контуры). Для описания геометрических свойств объекта проектирования (формы, размеров, расположения в пространстве) применяются геометрические модели.

Геометрическая модель – это совокупность сведений, однозначно определяющих форму геометрического объекта. Геометрические модели могут быть представлены совокупностью уравнений линий и поверхностей, алгебрологических соотношениями, графами, списками, таблицами, описаниями на специальных языках.

Одним из способов создания геометрических моделей проектируемых объектов в среде пакета СПРУТ является описание геометрической модели с помощью специального проблемно-ориентированного языка СПРУТ высокого уровня.

Пакет позволяет выполнять геометрические расчеты, связанные с определением на плоскости геометрических объектов, расчетом параметров их взаимного расположения и модификациями этих объектов. Возможно задание следующих типов данных: точка; прямая; окружность; контур; система координат.

Наличие указанных типов данных позволяет оперировать геометрическими понятиями, чем и определяется проблемная ориентация

языка.

Линейные размеры задаются в миллиметрах, углы в градусах, с десятичными долями, то есть десятичным числом. Угол положительный, если отсчитывается от положительного направления оси «X» против часовой стрелки и отрицательный, если отсчитывается от положительного направления оси «X» по часовой стрелке. Прямые считаются положительными, если направление их проекции на оси «X» или «Y» соответственно совпадают с положительным направлением осей «X» или «Y». Положительным направлением окружности принято направление против часовой стрелки.

Идентификаторы типов геометрических объектов имеют следующие обозначения:

Oп (система координат) – правая прямоугольная система координат, определяемая положением начала относительно точки с координатами $[0,0]$ и углом поворота относительно оси абсцисс абсолютной системы координат;

Pп (точка) – геометрический объект, определяемый на плоскости координатами в абсолютной или относительной системе координат. Не имеет собственных размеров;

Lп (прямая линия) – геометрический объект, определяемый на плоскости положением любой из его точек и направлением. Направление задается углом поворота относительно оси абсцисс абсолютной или относительной системы координат. Не имеет собственной толщины (ширины). Длина бесконечно велика;

Сл (окружность) – геометрический объект, определяемый на плоскости положением особой точки, называемой центром и величиной расстояния от центра до любой точки окружности. Не имеет собственной толщины (ширины);

Кл (плоский контур) – совокупность простейших геометрических объектов (точек, прямых линий, окружностей), характеризующийся положением начальной и конечной точек.

Номер объекта *n* может находиться в пределах от 1 до 65535.

Идентификаторы геометрических функций имеют следующие обозначения:

X, Y – координаты;

A – угол;

M – расстояние;

R – радиус;

D – диаметр;

N – номер или количество.

Параметризация геометрических объектов обеспечивается тем, что в любом операторе геометрического языка вместо любого числового значения могут быть использованы переменная или арифметическое выражение.

Ниже приведены некоторые операторы задания геометрических элементов.

4.1. Описание геометрических объектов

Задание новой системы координат может осуществляться координатами центра и углом поворота относительно базовой системы. Вместо координат центра может указываться идентификатор ранее заданной точки.

Формат оператора: $O_i = Xx, Yy, Aa$ или $O_i = Pj, Aa$ (рис. 6).

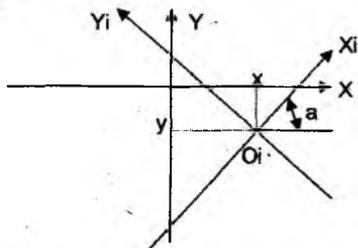
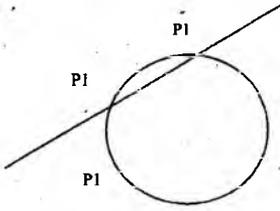
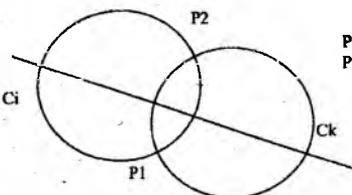


Рис. 6.Схема к построению системы координат

В табл. 17, 18, 19, 20 описаны способы формирования геометрических объектов.

Таблица 17

Задание точки	
Формат оператора	Описание способа задания точки
$P_i = Xx, Yy$	Координатами в базовой системе
$P_i = Xx, Yy, O_i$	Координатами в заданной системе
$P_i = Mm, Aa$	Относительно начала координат вектором длиной m под углом a между вектором и положительным направлением оси "X"
$P_i = Mm, Aa, P_j$	Относительно ранее заданной точки
$P_j = Mm, Aa, O_i$	В относительной системе координат
$P_i = P_j, Xx, Yy$	Приращением координат относительно ранее определенной точки
$P_i = Li, Lk$	Пересечением двух прямых
$P_i = P_j, Lk$	Осевой симметрией к заранее заданной точке относительно прямой
$P_i = P_j, LX$	Осевой симметрией относительно одной из осей координат
$P_i = P_j, LY$	

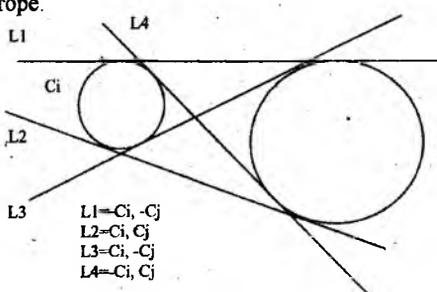
Формат оператора	Описание способа задания точки
$P_i=L_j, C_k$	<p>Пересечением прямой и окружности.</p>  <p style="text-align: right;"> $P_1=L_j, C_k=C_k, L_j$ $P_2=-L_i, C_k=C_k, -L_i$ </p> <p>Порядковый номер точки пересечения определяется указанием знака прямой. Необходимо смотреть вдоль прямой в том направлении, с которым она входит в оператор</p>
$P_i=C_j, C_k$	<p>Пересечением двух окружностей.</p>  <p style="text-align: right;"> $P_1=C_k, C_j$ $P_2=C_j, C_k$ </p> <p>Для определения порядкового номера точки пересечения окружностей необходимо, мысленно соединив центры окружностей прямой, направить взгляд вдоль этой прямой в направлении, совпадающем с порядком описания окружностей в операторе. Задаваемая точка расположена слева</p>
$P_i=O_i, P_k$	<p>В новой системе координат также, как исходная точка в базовой</p>
$P_i=O_j, P_k, O_n$	<p>В новой системе координат также, как исходная точка в указанной заданной системе</p>

Формат оператора	Описание способа задания точки
$P_i=C_i, A_a$	На окружности под заданным центральным углом
$P_i=X_x, L_l$ $P_i=Y_y, L_l$	Одной из координат и лежащей на прямой
$P_i=L_j, M_m, P_k$	На прямой на расстоянии m от ранее заданной точки
$P_i=K_j, N_n$	Как узловой точки в контуре с номером n
$P_i=K_j, L_l, N_n$	Пересечением прямой и контура. Указывается порядковый номер искомой точки по направлению прямой
$P_i=K_j, C_t, N_n$	Пересечением окружности и контура. Указывается порядковый номер искомой точки при обходе по контуру
$P_i=K_j, K_t, N_n$	Пересечением двух контуров. Указывается порядковый номер искомой точки при обходе по первому из указанных контуров
$P_i=P_j, K_i$	На контуре, ближайшая к исходной точке
$P_i=C_i$	Как центр ранее определенной окружности
$P_i=K_j, K_t, A_a$	Точкой касания двух контуров при перемещении одного из них в указанном направлении до столкновения со вторым

Таблица 18

Задание прямой

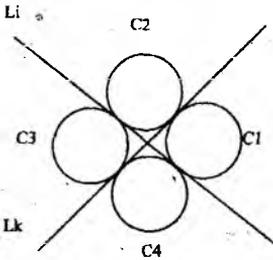
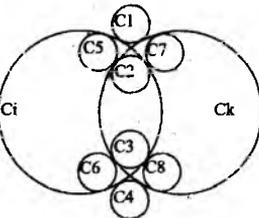
Формат оператора	Описание способа задания прямой
$L_i=P_i, P_k$	Проходящей через две заранее заданные точки
$L_i=P_i, A_a$	Проходящей через точку под заданным углом
$L_i=X_x, Y_y, A_a, O_k$	Проходящей через точку определяемую координатами, под заданным углом к оси «X», в относительной системе координат

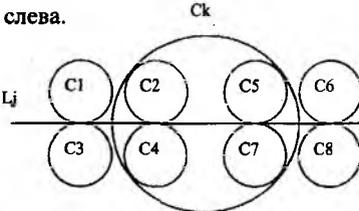
Формат оператора	Описание способа задания прямой
$Li=Cj, Aa$	Касательно к окружности под заданным углом
$Li=Pj, Ck$	Проходящая через точку касательно к заданной окружности
$Li=Ck, Pj$	
$Li=Lj, Mm$	Параллельно данной прямой на расстоянии m
$Li=Lx, Mm$	Параллельно одной из осей координат
$Li=Ly, Mm$	
$Li=Kj, Aa$	<p>Касательно к контуру под заданным углом.</p> <p>Выбор прямой определяется знаком контура в операторе. Знак положительный, если задаваемая прямая находится слева от контура, при совпадении взгляда и положительного направления задаваемой прямой.</p>
$Li=Cj, Ck$	<p>Касательно к двум окружностям.</p> <p>Выбор прямой (одной из четырех) осуществляется указанием знаков окружностей и порядком включения их в оператор. Необходимо посмотреть вдоль положительного направления прямой. Порядок точек касания соответствует порядку указания окружностей в операторе.</p>  <p> $L1=C_i, -C_j$ $L2=C_i, C_j$ $L3=-C_i, -C_j$ $L4=-C_i, C_j$ </p>

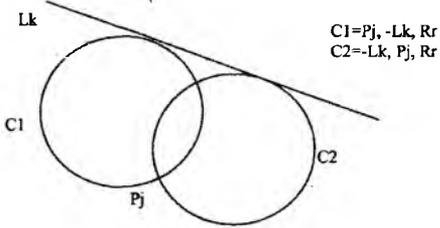
Формат оператора	Описание способа задания прямой
$L_i = P_k, K_j$	<p>Проходящей через точку касательно к контуру. Выбор прямой определяется знаком контура в операторе. Знак положительный, если задаваемая прямая находится слева от контура, при взгляде от точки к контуру</p> <p style="text-align: right;">$L_1 = P_k, K_j$ $L_2 = P_k, -K_j$</p>
$L_i = K_i, N_n$	Как элемент ранее определенного контура с номером n
$L_i = a, b, c$	Коэффициентами нормального уравнения прямой.

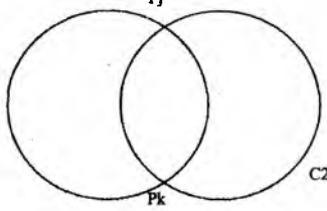
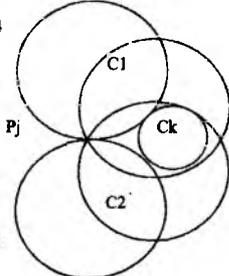
Таблица 19

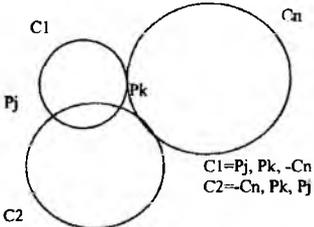
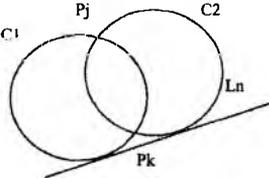
Задание окружности	
Формат оператора	Описание способа задания окружности
$C_i = X_x, Y_y, R_r$	Центром и радиусом
$C_i = P_j, R_r$	
$C_i = C_j, L_k$	Симметрично исходной окружности относительно прямой
$C_i = C_j, M_m, A_a$	Переносом исходной окружности
$C_i = P_j, L_k$	С заданным центром, касательно к прямой
$C_i = X_x, Y_y, L_k$	
$C_i = P_j, C_k$	С заданным центром, касательно к окружности
$C_i = P_j, X_x, Y_y, R_r$	
$C_i = P_j, P_k, R_r$	

Формат оператора	Описание способа задания окружности
$C_i=L_j, L_k, R_r$	<p>Заданного радиуса, касательно к двум прямым.</p> <p>Знаки прямых являются признаками совпадения или несовпадения направлений прямой и задаваемой окружности в точке касания. Если в точке касания направления не совпадают – прямая со знаком «-»</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>$C1=L_i, -L_k, R_r$ $C2=L_i, L_k, R_r$ $C3=-L_i, L_k, R_r$ $C4=-L_j, -L_k, R_r$</p> </div> </div>
$C_i=C_j, M_m$	<p>Концентрично данной окружности</p>
$C_i=C_j, C_k, R_r$	<p>Заданного радиуса, касательно к двум окружностям.</p> <p>Порядок указания исходных окружностей определяется следующим образом:</p> <p style="text-align: center;">-центры исходных окружностей мысленно соединяются прямой;</p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>$C1=C_j, -C_k, R_r$ $C2=C_j, C_k, R_r$ $C3=C_k, C_j, R_r$ $C4=C_k, -C_j, R_r$ $C5=C_j, -C_k, R_r$ $C6=-C_k, C_j, R_r$ $C7=C_j, C_k, R_r$ $C8=C_k, -C_j, R_r$</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">-направление взгляда вдоль прямой должно быть выбрано так, чтобы центр задаваемой окружности находился слева;</p>

Формат оператора	Описание способа задания окружности
	<p>-порядок указания окружностей в операторе должен совпадать с порядком расположения центров этих окружностей на прямой.</p> <p>Знаки, с которыми исходные окружности входят в оператор, указывают на совпадение или несовпадение направлений в точке касания с задаваемой окружностью. При несовпадении направлений окружность входит в оператор со знаком "-"</p>
$C_i=L_j, C_k, R_r$	<p>Заданного радиуса, касательно к прямой и окружности, определенным ранее. Порядок записи элементов в операторе определяется следующим образом:</p> <ul style="list-style-type: none"> -представить прямую как дугу окружности бесконечного радиуса с центром слева от прямой (взгляд должен совпадать с положительным направлением прямой); -мысленно соединить отрезком центр воображаемой дуги с центром заданной окружности; -направление взгляда на отрезок необходимо выбрать так, чтобы определяемая окружность была слева. <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 10px;">L_j</div>  <div style="margin-left: 10px;"> <p style="text-align: center;">C_k</p> <p> $C1=C_k, L_j, R_r$ $C2=C_k, L_j, R_r$ $C3=-C_k, -L_j, R_r$ $C4=C_k, -L_j, R_r$ $C5=L_j, C_k, R_r$ $C6=L_j, -C_k, R_r$ $C7=-L_j, C_k, R_r$ $C8=L_j, -C_k, R_r$ </p> </div> </div> <p>Порядок записи элементов в операторе должен соответствовать расположению центров исходных</p>

Формат оператора	Описание способа задания окружности
	элементов на воображаемом отрезке в направлении взгляда
$Ci=Pj, Lk, Rr$ $Ci=Lk, Pj, Rr$	<p data-bbox="329 337 919 444">Заданного радиуса, проходящая через точку, касательно к прямой. Порядок записи элементов в операторе определяется следующим образом:</p> <ul data-bbox="329 461 919 613" style="list-style-type: none"> -представить прямую, как дугу окружности бесконечного радиуса с центром слева от прямой (взгляд должен совпадать с положительным направлением прямой); <div data-bbox="401 639 841 867" style="text-align: center;">  <p data-bbox="729 662 841 704">$C1=Pj, -Lk, Rr$ $C2=-Lk, Pj, Rr$</p> </div> <ul data-bbox="329 883 919 1078" style="list-style-type: none"> -мысленно соединить отрезком центр воображаемой дуги с заданной точкой; -направление взгляда на отрезок необходимо выбрать так, чтобы центр определяемой окружности находился слева. <p data-bbox="329 1094 919 1208">Порядок записи элементов в операторе должен соответствовать последовательности расположения их на воображаемом отрезке</p>
$Ci=Pj, Pk, Rr$	<p data-bbox="329 1222 919 1247">Заданного радиуса, проходящая через две точки.</p> <p data-bbox="329 1263 919 1333">Порядок записи элементов в операторе определяется следующим образом:</p>

Формат оператора	Описание способа задания окружности
	<p>-соединить исходные точки отрезком; -выбрать направление взгляда на отрезок так, чтобы центр задаваемой окружности находился слева.</p> <p>Порядок записи точек в операторе должен соответствовать порядку расположения их на воображаемом отрезке</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>C1</p>  </div> <div style="text-align: right;"> <p>C1=Pk, Pj, Rr C2=Pj, Pk, Rr</p> </div> </div>
<p>Ci=Pj, Ck, Rr Ci=Ck, Pj, Rr</p>	<p>Заданного радиуса, проходящая через точку, касательно к окружности. Порядок записи элементов в операторе определяется следующим образом:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>C4</p>  </div> <div style="text-align: right;"> <p>C1=Pj, Ck, Rr C2=Ck, Pj, Rr C3=-Ck, Pj, Rr C4=Pj, -Ck, Rr</p> </div> </div> <p>-мысленно соединить центр исходной окружности и точку отрезком; -направление взгляда на отрезок необходимо выбрать так, чтобы центр задаваемой окружности</p>

Формат оператора	Описание способа задания окружности
	<p>находился слева</p> <p>Порядок записи элементов в операторе должен соответствовать последовательности расположения их на воображаемом отрезке</p>
$C_i=P_j, K_k$	<p>С центром в заданной точке, касательно к контуру.</p> <p>Если идентификатор контура входит в оператор со знаком «+», то касание внутреннее, иначе – внешнее</p>
$C_i=K_j, N_n$	<p>Как элемент ранее определенного контура</p>
$C_i=P_j, P_k, C_n$ $C_i=P_j, C_n, P_k$ $C_i=C_n, P_j, P_k$	<p>Проходящей через две точки, касательно к данной окружности</p> 
$C_i=P_j, P_k, L_n$ $C_i=P_j, L_n, P_k$ $C_i=L_n, P_j, P_k$	<p>Проходящей через две точки, касательно к данной прямой</p> 
$C_i=P_j, L_k, L_n$	<p>Проходящей через точку, касательно к двум прямым</p>
$C_i=P_j, C_k, C_n$	<p>Проходящей через точку, касательно к двум окружностям</p>
$C_i=C_j, L_k, L_n$	<p>Касательно к двум прямым и окружности</p>
$C_i=P_j, P_k, P_n$	<p>Проходящей через три точки</p>

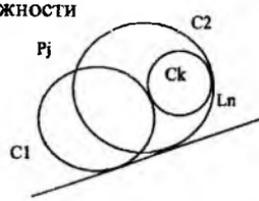
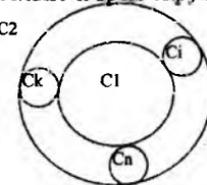
Формат оператора	Описание способа задания окружности
$C_i=L_j, L_k, L_n$	Касательно к трем прямым
$C_i=C_j, C_k, L_n$	Касательно к двум окружностям и прямой
$C_i=P_j, C_k, L_n$	Проходящей через точку, касательно к прямой и окружности  $C_1=P_j, L_n, -C_k$ $C_2=C_k, P_j, L_n$
$C_i=C_j, C_k, C_n$	Касательно к трем окружностям  $C_1=C_j, C_k, C_n$ $C_2=-C_j, -C_k, -C_n$

Таблица 20

Задание контура

Формат оператора	Описание способа задания контура
	Контуром является объединение сегментов геометрических элементов: точек, отрезков прямых линий, дуг окружностей, сегментов контуров
$K_i=P_j, L_k, -C_n, \dots P_m$	Контур из заданных геометрических элементов. Правая часть оператора содержит перечисление элементов контура в той последовательности, в которой они входят в него с учетом знака. Описание контура начинается с точки, лежащей на первом элементе и заканчивается точкой, лежащей на последнем элементе. Необходимо предварительно

Формат оператора	Описание способа задания контура
	задать все элементы, кроме радиусов скругления. Идентификатор, указывающий на наличие скругления (Rr), вставляется в оператор задания контура между идентификаторами сопрягаемых элементов с учетом знака
$Ki=Pj, Pk, \dots Pm$	Контур, заданный на множестве точек. Правая часть оператора содержит перечисление точек в той последовательности, в которой они должны быть соединены отрезками
$Ki=Kj, Lk$ $Ki=Kj, Lx$ $Ki=Kj, Ly$	Контур заданный осевой симметрией относительно прямой или одной из осей системы координат
$Ki=Kj, Kk, \dots Km$	Контур, заданный объединением контуров. Конечная точка каждого предыдущего контура должна совпадать с начальной точкой каждого последующего контура. Могут быть указаны параметры сопряжения дугами указанных контуров
$Ki=-Kj$	Смена направления обхода контура

Кроме этого, возможно преобразование геометрических типов данных в данные вещественного типа с помощью геометрических функций:

$X[Pi]$ и $Y[Pi]$ – координаты X и Y точки Pi ;

$X[Ci]$ и $Y[Ci]$ – координаты X и Y центра окружности Ci ;

$R[Ci]$ – радиус окружности Ci ;

$A[Li]$ – угол между положительным направлением оси « X » и прямой Li .

Ниже, в качестве примера, представлен фрагмент программы (с пояснениями), реализующей геометрическую модель матрицы разделительного штампа. На рис. 7 приведено изображение матрицы с

необходимыми для построения модели размерами и проставлены номера точек, которые определяются в приведенном фрагменте.

Рабочий чертеж матрицы представлен в прил. 6.

$P1 = X, Y$ — привязочная точка $P1$ задана координатами x и y .

Все остальные точки контура матрицы ($P2...P11$) заданы относительно этой точки (точка $P2$ относительно точки $P1$, точка $P3$ — относительно точки $P2$ и т. д.);

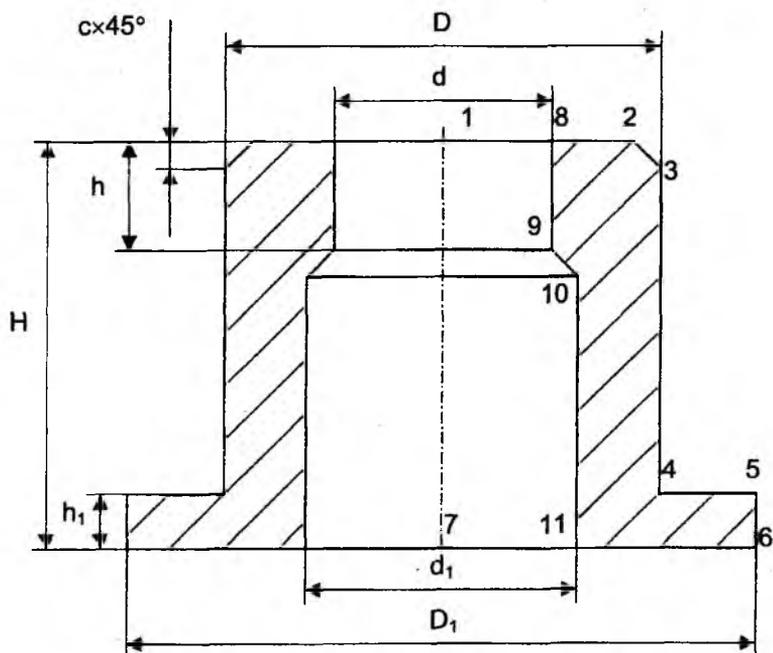


Рис. 7. Расчетная схема для построения чертежа матрицы

$P2 = M(D/2 - C)$, $A = 0$, $P1$ — точка $P2$ задана вектором M длиной $(D/2 - C)$ под углом $A = 0$ к оси X с началом в точке $P1$;

$P3=X(X[P2]+C), Y(Y[P2]-C)$ – точка P3 имеет координаты X и Y, отличающиеся от соответствующих координат точки P2 на величину фаски C;

$P4=M(H-h1-C), A(-90), P3$;

$P5=X(X[P1]+D1/2), Y(Y[P4])$ – координата X точки P5 отстоит от соответствующей координаты точки P1 на величину D/2, а координата Y равна координате Y точки P4;

$P7=X(X[P1]), Y(Y[P1]-H)$;

$P6=X(X[P7]+D1/2), Y(Y[P7])$;

Далее идут точки внутреннего контура матрицы.

$P8=M(d/2), A0, P1$;

$P9=M(h), A(-90), P8$;

$P11=M(d1/2), A0, P7$;

$L2=P9, A(-45)$ – прямая, проходящая через точку P9 под углом -45 градусов к оси X;

$L3=P11, A90$;

$P10=L2, L3$ – точка P10 находится на пересечении прямых L2 и L3;

Далее описываются контуры матрицы.

$K1=P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7$ – наружный контур матрицы, проходящий через точки P1 – P7;

$L1=P1, P7$ – прямая, проходящая через точки P1 и P7 (осевая);

$K2=K1, L1$ – контур K2, симметричный контуру K1 относительно прямой L1;

$K3=P8, P9, P10, P11$;

$K4=K3, L1$.

При проектировании детали “Матрица” сначала рассчитывается диаметр d. Значение и точность его выполнения зависят от размеров и точности штампуемой детали. Затем, в зависимости от полученного значения d, из базы данных выбираются остальные размеры (D, D1, d1, H, h, h1 и c).

Подставляя значения этих размеров в геометрическую модель, можно получить реальное изображение матрицы.

При выполнении рабочего чертежа матрицы геометрическую модель, описанную выше, необходимо дополнить размерными линиями с размерами и точностными параметрами; знаками шероховатости со значениями параметров шероховатости; техническими требованиями; рамкой; штампом и прочими необходимыми атрибутами чертежа.

При выполнении сборочного чертежа положение матрицы в пространстве синтеза штампа определяется координатами привязочной точки P1.

Список литературы

1. Введение в CAD/CAM: Учеб. пособие / Чигиринский Ю. Л., Быков Ю. М., Палей М. М. – ВолгГТУ, Волгоград, 1998. – 69 с.
2. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: Учеб. пособие для студентов вузов. 5-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2001. – 400 с.
3. Евдокимов Ю. А., Колесников В. И., Тетерин А. И. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. – М.: Наука, 1980. – 228 с.
4. Оробинский В. М., Палей М. М., Схиртладзе А. Г. Статистические методы определения качества: Учебное пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 1997. – 96 с.
5. Размерный анализ технологических процессов / В. В. Матвеев, М. М. Тверской, Ф. И. Бойков и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
6. САПР изделий и технологических процессов в машиностроении / Р. А. Аллик, В. И. Бородинский, А. Г. Бурин и др.; Под общ. ред. Р. А. Аллика. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. – 319 с., ил.
7. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущего инструмента / С. Н. Корчак, А. А. Кошин, А. Г. Ракович, Б. И. Синицин; Под общ. ред. С. Н. Корчака. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
8. Справочник по математике для научных работников и инженеров Корн Г., Корн Т. – М.: Наука. Главная редакция физ. – мат. литературы, 1984. – 833 с.
9. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В. С. Королук, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. – М.: Наука. Главная редакция физ. – мат. литературы, 1985. – 640 с.
10. Стохастическое моделирование в машиностроении: Учеб. пособие / Чигиринский Ю. Л., Чигиринская Н. В., Быков Ю. М. – ВолгГТУ, Волгоград, 2002. – 68 с.
11. Шпур Г., Краузе Ф.-Л. Автоматизированное проектирование в машиностроении: Пер. с нем. Г. Д. Волковой и др.; Под ред. Ю. М. Соломенцева, В. П. Диденко. – М.: Машиностроение, 1988. – 648 с.: ил.

Приложение 1

Задание № 1

82,110	83,370	82,480	82,370	82,770
82,730	81,470	82,550	82,380	82,620
82,170	81,860	82,960	82,690	82,600
83,430	83,650	82,560	82,280	82,760
81,320	82,790	81,950	82,790	82,690
83,300	83,530	81,850	82,920	82,710
82,580	81,670	81,920	82,560	82,520
82,690	82,580	82,200	82,950	82,770
83,670	83,260	82,580	82,630	82,460
83,900	83,710	82,580	82,800	82,620
83,990	83,070	82,550	82,650	82,410
83,780	81,970	82,940	82,380	82,600
81,220	82,740	82,330	82,700	82,410
83,620	81,460	82,600	82,600	82,660
83,860	83,740	82,500	82,810	82,660
83,900	83,580	82,470	82,340	82,530
81,890	83,110	82,630	82,880	82,560
82,400	81,450	81,870	82,510	82,500
82,870	82,370	82,540	82,220	82,660
82,980	83,050	82,130	82,500	82,580
82,240	82,380	83,170	82,430	82,640
82,490	83,000	82,550	82,540	82,680
82,750	82,340	82,830	82,620	82,630
83,220	82,200	82,290	82,620	82,600
82,750	83,010	82,460	82,510	82,600
82,680	82,320	82,950	82,610	82,600
81,530	82,830	82,500	82,610	82,600
83,230	82,870	82,660	82,610	82,610
82,250	82,890	82,280	82,550	82,620
82,160	81,970	82,620	82,570	82,610
83,470	82,900	82,750	82,680	
82,620	82,330	82,540	82,600	

Задание № 2

100,040	100,026	100,023	100,031
100,036	100,021	100,039	100,029
100,051	100,017	100,018	100,030
100,038	100,031	100,028	100,027
100,053	100,033	100,017	100,026
100,031	100,027	100,038	100,025
100,008	100,015	100,038	100,026
100,013	100,030	100,031	100,031
100,007	100,013	100,034	100,025
100,052	100,040	100,032	100,026
100,006	100,026	100,015	100,025
100,013	100,046	100,010	100,022
100,037	100,030	100,009	100,023
100,036	100,008	100,023	100,023
100,028	100,031	100,029	100,029
100,006	100,037	100,016	100,022
100,041	100,037	100,016	100,022
100,013	100,032	100,023	100,025
100,015	100,009	100,027	100,028
100,006	100,011	100,019	100,025
100,011	100,032	100,033	100,028
100,041	100,028	100,025	100,026
100,030	100,013	100,017	100,028
100,034	100,031	100,036	100,028
100,037	100,015	100,021	100,027
100,013	100,026	100,034	100,028
100,015	100,010	100,035	100,029
100,028	100,027	100,020	100,026
100,023	100,009	100,032	100,026
100,004	100,015	100,033	100,026
100,026	100,012	100,027	
100,008	100,029	100,033	

Задание № 3

54,049	54,094	54,078	54,081	54,056
54,081	54,080	54,045	54,079	54,051
54,041	54,075	54,060	54,043	54,058
54,090	54,098	54,043	54,082	54,050
54,017	54,094	54,083	54,041	54,054
54,054	54,087	54,053	54,056	54,051
54,118	54,089	54,068	54,068	54,054
54,014	54,061	54,058	54,041	54,056
54,004	54,033	54,042	54,053	54,056
54,067	54,061	54,068	54,058	54,056
54,038	54,038	54,057	54,054	54,053
54,001	54,048	54,048	54,056	54,055
54,076	54,035	54,041	54,058	54,054
54,090	54,078	54,061	54,054	54,056
54,078	54,033	54,066	54,055	54,054
54,057	54,099	54,049	54,054	54,056
54,055	54,020	54,085	54,051	54,056
54,051	54,077	54,052	54,057	54,055
54,076	54,052	54,058	54,059	54,054
54,050	54,084	54,088	54,052	54,054
54,036	54,053	54,073	54,057	54,054
54,023	54,044	54,081	54,058	54,073
54,102	54,045	54,044	54,057	54,039
54,047	54,078	54,055	54,052	54,069
54,062	54,051	54,065	54,058	54,063
54,052	54,027	54,088	54,051	54,077
54,099	54,046	54,074	54,053	54,081
54,060	54,057	54,050	54,056	54,079
54,096	54,067	54,081	54,055	54,082
54,065	54,021	54,054	54,057	54,082
54,076	54,087	54,058	54,059	54,047
54,026	54,083	54,048	54,051	54,041

Задание № 4

Продолжение прил. 1

8,61	8,37	8,81
8,87	8,85	8,53
8,62	8,49	8,62
8,60	8,72	8,54
8,48	8,71	8,51
8,55	8,68	8,62
8,39	8,52	8,54
8,70	8,53	8,55
8,65	8,69	8,87
8,67	8,70	8,62
8,73	8,44	8,56
8,56	8,42	8,42
8,68	8,53	8,86
8,66	8,87	8,50
8,76	8,65	8,62
8,66	8,60	8,61
8,47	8,61	8,80
8,74	8,66	8,64
8,69	8,82	8,59
8,63	8,74	8,57
8,82	8,67	8,84
8,34	8,28	8,75
8,72	8,77	8,69
8,76	8,46	8,71
8,65	8,57	8,78
8,68	8,58	8,66
8,83	8,75	8,63
8,64	8,59	8,98
8,70	8,45	8,61
8,82	8,40	8,65
8,58	8,51	8,71
8,67	8,78	8,67
8,55	8,61	8,79

Задание № 5

110,010	110,032	110,043	110,028	110,041	110,041
110,012	110,032	110,044	110,028	110,041	110,041
110,013	110,033	110,046	110,029	110,026	110,042
110,014	110,033	110,046	110,030	110,026	110,042
110,015	110,033	110,047	110,031	110,027	110,043
110,016	110,033	110,048	110,031	110,027	110,043
110,019	110,033	110,048	110,032	110,027	110,044
110,020	110,033	110,049	110,032	110,028	110,046
110,022	110,034	110,050	110,033	110,032	110,046
110,022	110,034	110,051	110,033	110,033	110,028
110,022	110,034	110,051	110,033	110,033	110,032
110,022	110,035	110,051	110,033	110,033	110,033
110,022	110,035	110,051	110,033	110,033	110,033
110,023	110,035	110,052	110,033	110,033	110,033
110,023	110,036	110,053	110,034	110,033	110,033
110,023	110,036	110,053	110,034	110,034	110,033
110,023	110,037	110,054	110,034	110,034	110,033
110,024	110,037	110,054	110,035	110,034	110,034
110,025	110,037	110,054	110,035	110,035	110,034
110,025	110,038	110,058	110,035	110,035	110,034
110,026	110,038	110,059	110,036	110,035	110,035
110,026	110,039	110,059	110,036	110,036	110,035
110,026	110,039	110,061	110,037	110,036	110,035
110,027	110,039	110,024	110,037	110,037	110,036
110,027	110,040	110,025	110,037	110,037	110,036
110,027	110,041	110,025	110,038	110,037	110,037
110,028	110,041	110,026	110,038	110,038	110,037
110,028	110,041	110,026	110,039	110,038	110,037
110,029	110,041	110,026	110,039	110,039	110,038
110,030	110,042	110,027	110,039	110,039	110,038
110,031	110,042	110,027	110,040	110,039	110,039
110,031	110,043	110,027	110,041	110,040	110,039
110,040	110,041	110,041	110,042	110,039	

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-x^2/2} dx$$

Интеграл вероятности

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-3.0	0,00135	0,00131	0,00126	0,00122	0,00118	0,00114	0,00111	0,00107	0,00104	0,00100
-2.9	0,00187	0,00181	0,00175	0,00169	0,00164	0,00159	0,00154	0,00149	0,00144	0,00139
-2.8	0,00256	0,00248	0,00240	0,00233	0,00226	0,00219	0,00212	0,00205	0,00199	0,00193
-2.7	0,00347	0,00336	0,00326	0,00317	0,00307	0,00298	0,00289	0,00280	0,00272	0,00264
-2.6	0,00466	0,00453	0,00440	0,00427	0,00415	0,00402	0,00391	0,00379	0,00368	0,00357
-2.5	0,00621	0,00604	0,00587	0,00570	0,00554	0,00539	0,00523	0,00508	0,00494	0,00480
-2.4	0,00820	0,00798	0,00776	0,00755	0,00734	0,00714	0,00695	0,00676	0,00657	0,00639
-2.3	0,01072	0,01044	0,01017	0,00990	0,00964	0,00939	0,00914	0,00889	0,00866	0,00842
-2.2	0,01390	0,01355	0,01321	0,01287	0,01255	0,01222	0,01191	0,01160	0,01130	0,01101
-2.1	0,01786	0,01743	0,01700	0,01659	0,01618	0,01578	0,01539	0,01500	0,01463	0,01426
-2.0	0,02275	0,02222	0,02169	0,02118	0,02068	0,02018	0,01970	0,01923	0,01876	0,01831
-1.9	0,02872	0,02807	0,02743	0,02680	0,02619	0,02559	0,02500	0,02442	0,02385	0,02330
-1.8	0,03593	0,03515	0,03438	0,03362	0,03288	0,03216	0,03144	0,03074	0,03005	0,02938
-1.7	0,04457	0,04363	0,04272	0,04182	0,04093	0,04006	0,03920	0,03836	0,03754	0,03673
-1.6	0,05480	0,05370	0,05262	0,05155	0,05050	0,04947	0,04846	0,04746	0,04648	0,04551
-1.5	0,06681	0,06552	0,06426	0,06301	0,06178	0,06057	0,05938	0,05821	0,05705	0,05592
-1.4	0,08076	0,07927	0,07780	0,07636	0,07493	0,07353	0,07215	0,07078	0,06944	0,06811
-1.3	0,09680	0,09510	0,09342	0,09176	0,09012	0,08851	0,08692	0,08534	0,08379	0,08226
-1.2	0,11507	0,11314	0,11123	0,10935	0,10749	0,10565	0,10383	0,10204	0,10027	0,09853

99

Продолжение прил. 2

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-1.1	0,13567	0,13350	0,13136	0,12924	0,12714	0,12507	0,12302	0,12100	0,11900	0,11702
-1.0	0,15866	0,15625	0,15386	0,15151	0,14917	0,14686	0,14457	0,14231	0,14007	0,13786
-0.9	0,18406	0,18141	0,17879	0,17619	0,17361	0,17106	0,16853	0,16602	0,16354	0,16109
-0.8	0,21186	0,20897	0,20611	0,20327	0,20045	0,19766	0,19489	0,19215	0,18943	0,18673
-0.7	0,24196	0,23885	0,23576	0,23270	0,22965	0,22663	0,22363	0,22065	0,21770	0,21476
-0.6	0,27425	0,27093	0,26763	0,26435	0,26109	0,25785	0,25463	0,25143	0,24825	0,24510
-0.5	0,30854	0,30503	0,30153	0,29806	0,29460	0,29116	0,28774	0,28434	0,28096	0,27760
-0.4	0,34458	0,34090	0,33724	0,33360	0,32997	0,32636	0,32276	0,31918	0,31561	0,31207
-0.3	0,38209	0,37828	0,37448	0,37070	0,36693	0,36317	0,35942	0,35569	0,35197	0,34827
-0.2	0,42074	0,41683	0,41294	0,40905	0,40517	0,40129	0,39743	0,39358	0,38974	0,38591
-0.1	0,46017	0,45620	0,45224	0,44828	0,44433	0,44038	0,43644	0,43251	0,42858	0,42465
0,0	0,50000	0,50399	0,50798	0,51197	0,51595	0,51994	0,52392	0,52790	0,53188	0,53586
0,1	0,53983	0,54380	0,54776	0,55172	0,55567	0,55962	0,56356	0,56749	0,57142	0,57535
0,2	0,57926	0,58317	0,58706	0,59095	0,59483	0,59871	0,60257	0,60642	0,61026	0,61409
0,3	0,61791	0,62172	0,62552	0,62930	0,63307	0,63683	0,64058	0,64431	0,64803	0,65173
0,4	0,65542	0,65910	0,66276	0,66640	0,67003	0,67364	0,67724	0,68082	0,68439	0,68793
0,5	0,69146	0,69497	0,69847	0,70194	0,70540	0,70884	0,71226	0,71566	0,71904	0,72240
0,6	0,72575	0,72907	0,73237	0,73565	0,73891	0,74215	0,74537	0,74857	0,75175	0,75490
0,7	0,75804	0,76115	0,76424	0,76730	0,77035	0,77337	0,77637	0,77935	0,78230	0,78524
0,8	0,78814	0,79103	0,79389	0,79673	0,79955	0,80234	0,80511	0,80785	0,81057	0,81327
0,9	0,81594	0,81859	0,82121	0,82381	0,82639	0,82894	0,83147	0,83398	0,83646	0,83891
1,0	0,84134	0,84375	0,84614	0,84849	0,85083	0,85314	0,85543	0,85769	0,85993	0,86214
1,1	0,86433	0,86650	0,86864	0,87076	0,87286	0,87493	0,87698	0,87900	0,88100	0,88298

67

z	0.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,2	0,88493	0,88686	0,88877	0,89065	0,89251	0,89435	0,89617	0,89796	0,89973	0,90147
1,3	0,90320	0,90490	0,90658	0,90824	0,90988	0,91149	0,91308	0,91466	0,91621	0,91774
1,4	0,91924	0,92073	0,92220	0,92364	0,92507	0,92647	0,92785	0,92922	0,93056	0,93189
1,5	0,93319	0,93448	0,93574	0,93699	0,93822	0,93943	0,94062	0,94179	0,94295	0,94408
1,6	0,94520	0,94630	0,94738	0,94845	0,94950	0,95053	0,95154	0,95254	0,95352	0,95449
1,7	0,95543	0,95637	0,95728	0,95818	0,95907	0,95994	0,96080	0,96164	0,96246	0,96327
1,8	0,96407	0,96485	0,96562	0,96638	0,96712	0,96784	0,96856	0,96926	0,96995	0,97062
1,9	0,97128	0,97193	0,97257	0,97320	0,97381	0,97441	0,97500	0,97558	0,97615	0,97670
2,0	0,97725	0,97778	0,97831	0,97882	0,97932	0,97982	0,98030	0,98077	0,98124	0,98169
2,1	0,98214	0,98257	0,98300	0,98341	0,98382	0,98422	0,98461	0,98500	0,98537	0,98574
2,2	0,98610	0,98645	0,98679	0,98713	0,98745	0,98778	0,98809	0,98840	0,98870	0,98899
2,3	0,98928	0,98956	0,98983	0,99010	0,99036	0,99061	0,99086	0,99111	0,99134	0,99158
2,4	0,99180	0,99202	0,99224	0,99245	0,99266	0,99286	0,99305	0,99324	0,99343	0,99361
2,5	0,99379	0,99396	0,99413	0,99430	0,99446	0,99461	0,99477	0,99492	0,99506	0,99520
2,6	0,99534	0,99547	0,99560	0,99573	0,99585	0,99598	0,99609	0,99621	0,99632	0,99643
2,7	0,99653	0,99664	0,99674	0,99683	0,99693	0,99702	0,99711	0,99720	0,99728	0,99736
2,8	0,99744	0,99752	0,99760	0,99767	0,99774	0,99781	0,99788	0,99795	0,99801	0,99807
2,9	0,99813	0,99819	0,99825	0,99831	0,99836	0,99841	0,99846	0,99851	0,99856	0,99861
3,0	0,99865	0,99869	0,99874	0,99878	0,99882	0,99886	0,99889	0,99893	0,99896	0,99900

89

Приложение 3

Критерий Стьюдента

Вероятность	Число степеней свободы																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	60	∞		
0,0001	6370,54	100,136	28,0142	15,5345	11,1759	9,08040	7,88830	7,11996	6,59376	6,21192	4,83822	4,48199	4,32134	4,1688	3,8918		
0,001	636,578	31,5998	12,9244	8,61008	6,86850	5,95872	5,40807	5,04137	4,78089	4,58676	3,84956	3,64598	3,55096	3,4602	3,2915		
0,01	63,8559	9,92499	5,84085	4,60408	4,03212	3,70743	3,46948	3,35538	3,24984	3,16926	2,84534	2,74998	2,70448	2,6603	2,5763		
0,05	12,7062	4,30266	3,18245	2,77845	2,57058	2,44691	2,36462	2,30601	2,26216	2,22814	2,08596	2,04227	2,02107	2,0003	1,9602		
0,1	6,31375	2,91999	2,35336	2,13185	2,01505	1,94318	1,89458	1,85955	1,83311	1,81246	1,72472	1,69726	1,68385	1,6706	1,6450		
0,2	3,07768	1,86562	1,63775	1,53321	1,47588	1,43978	1,41482	1,39682	1,38303	1,37218	1,32534	1,31042	1,30308	1,2958	1,2816		
0,3	1,86261	1,38821	1,24978	1,18957	1,15577	1,13416	1,11916	1,10815	1,09972	1,09306	1,06402	1,05486	1,05005	1,0455	1,0365		
0,4	1,37638	1,06068	0,97847	0,94096	0,91954	0,90570	0,89603	0,88889	0,88340	0,87908	0,85996	0,85377	0,85070	0,8477	0,8417		
0,5	1,00000	0,81650	0,76489	0,74070	0,72669	0,71756	0,71114	0,70639	0,70272	0,69981	0,68895	0,68276	0,68067	0,6786	0,6745		
0,6	0,72654	0,61721	0,58439	0,56865	0,55943	0,55338	0,54911	0,54593	0,54348	0,54153	0,53286	0,53002	0,52861	0,5272	0,5244		
0,7	0,50953	0,44475	0,42420	0,41416	0,40823	0,40431	0,40154	0,39947	0,39787	0,39659	0,39091	0,38993	0,38810	0,3872	0,3853		
0,8	0,32492	0,28867	0,27667	0,27072	0,26718	0,26483	0,26317	0,26192	0,26098	0,26018	0,25674	0,25561	0,25504	0,2545	0,2534		
0,9	0,15838	0,14213	0,13660	0,13383	0,13218	0,13108	0,13029	0,12971	0,12925	0,12889	0,12727	0,12673	0,12646	0,1262	0,1257		
0,95	0,07870	0,07080	0,06809	0,06673	0,06591	0,06537	0,06499	0,06470	0,06448	0,06430	0,06350	0,06323	0,06310	0,0630	0,0627		
0,99	0,01571	0,01414	0,01360	0,01333	0,01317	0,01306	0,01299	0,01293	0,01289	0,01285	0,01269	0,01264	0,01261	0,0126	0,0125		
0,999	0,00157	0,00141	0,00136	0,00133	0,00132	0,00131	0,00130	0,00129	0,00129	0,00128	0,00127	0,00126	0,00126	0,00126	0,00125		

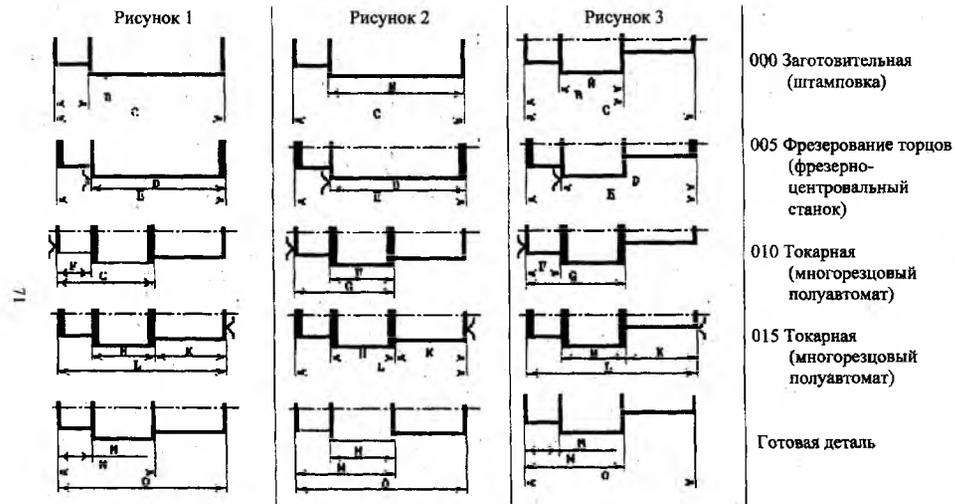
89

Ширина поля допуска, мкм

Интервал размеров, мм	Квалитет точности												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Менее 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
От 3 до 6	5	8	12	18	30	48	80	120	160	300	480	800	1200
От 6 до 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
От 10 до 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
От 18 до 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
От 30 до 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
От 50 до 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
От 80 до 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
От 120 до 150	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
От 150 до 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
От 250 до 315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
От 315 до 400	25	36	27	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
От 400 до 500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300
От 500 до 630	30	44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000
От 630 до 800	35	50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000	8000
От 800 до 1000	40	56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3600	5600	9000
От 1000 до 1250	46	66	105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6600	10500
От 1250 до 1600	54	78	125	195	310	500	780	1250	1950	3100	5000	7800	12500
От 1600 до 2000	65	92	150	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	9200	15000

70

Приложение 5



71

Рисунок 4

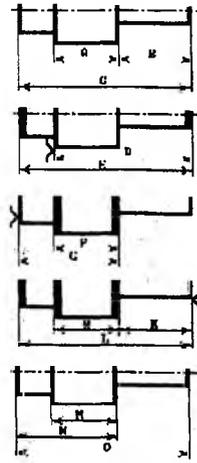
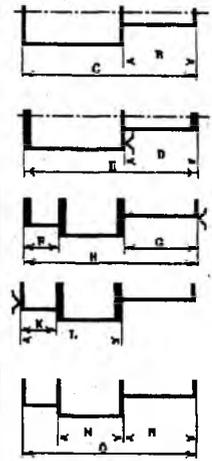
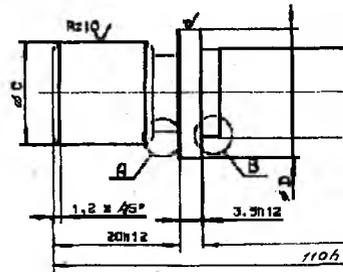


Рисунок 5



72



73

A (2 : 1)

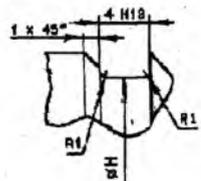
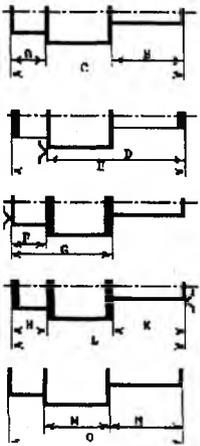


Рисунок 6



000 Заготовительная
(штамповка)

005 Фрезерование торцов
(фрезерно-
центральный
станок)

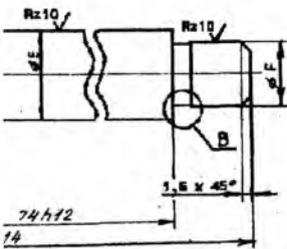
010 Токарная
(многорезцовый
полуавтомат)

015 Токарная
(многорезцовый
полуавтомат)

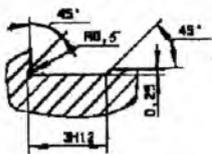
Готовая деталь

Приложение 6

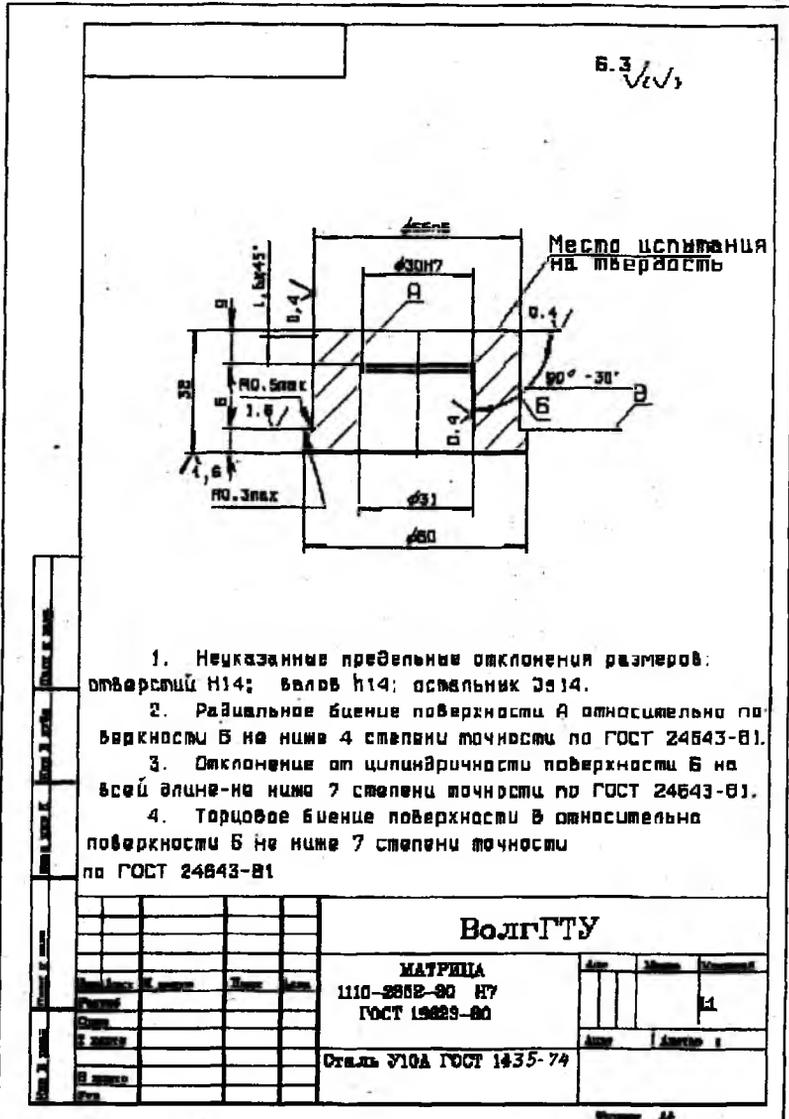
Б, 3 √ (✓)



В (4 : 1)



Приложение 7



ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ	3
1.1. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ	4
1.2. ОЦЕНКА СРЕДНЕГО И ДИСПЕРСИИ	5
1.3. СОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	13
1.4. ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ	23
2. РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	29
2.1. ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ, ПОСТРОЕННЫЕ ДЛЯ ОСЕВЫХ РАЗМЕРОВ	33
2.2. ЛИНЕЙНЫЕ РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ, ПОСТРОЕННЫЕ ДЛЯ ДИАМЕТРАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ	35
3. КОМПЛЕКСНЫЕ ЗАДАЧИ	41
4. КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА	42
4.1. ОПИСАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	44
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	60
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	61
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	66
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	69
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	70
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	71
ПРИЛОЖЕНИЕ 6	73
ПРИЛОЖЕНИЕ 7	74