



---

---

**И.Т. Глебов, А.Ю. Вдовин**

**Технологиче-  
ская  
точность  
деревообрабатывающих  
станков**

---

---

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
**Уральский государственный лесотехнический**  
**университет**

**И.Т. Глебов, А.Ю. Вдовин**

**Технологическая  
точность  
деревообрабатывающих  
станков**

Учебное пособие

Екатеринбург  
2006

УДК 674.05(075.8)

Рецензенты:

председатель Научно-методического совета Уральского института подготовки и повышения квалификации кадров лесного комплекса, ректор, канд. с/х наук Е. М. Дорожкин

Гороховский А.Г. директор ОАО УралНИИПдрев,  
канд. техн. наук

**Глебов И.Т., Вдовин А.Ю.**

Технологическая точность деревообрабатывающих станков. Учебное пособие – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2006. – 135 с.

ISBN 5-94984-110-7.

Приведены общие сведения по теории вероятностей, математической статистике и технологической системе, показаны причины отказов и старения деревообрабатывающих машин и их влияние на точность станков. Даны нормы точности станков, способы измерения точности, а также математические методы оценки точности.

Книга адресована студентам специальностей 150405, 250303, а также специалистам лесопромышленного комплекса.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 674.05(075.8)

© И.Т. Глебов, А.Ю. Вдовин, 2006

ISBN 5-94984-110-7

© Уральский государственный  
лесотехнический университет, 2006

Учебное издание

**Иван Тихонович Глебов,  
Андрей Юрьевич Вдовин**

**Технологическая точность  
деревообрабатывающих станков**

Учебное пособие

Редактор Р.В. Сайгина

---

Подписано в печать		Формат 60 x 84 1/16
Бумага тип. №1	Печать офсетная	Уч.-изд. л. 6,8
Усл. печ. л. 7,67	Тираж 300 экз.	С №2. Заказ

---

Уральский государственный лесотехнический университет  
620032, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.

Размножено с готового оригинал-макета ГУП СО Талицкая  
типолиграфия: 623640, г. Талица, ул. Исламова, 2.

## **Предисловие**

Предлагаемое учебное пособие предназначено для студентов лесотехнических вузов специальностей 150405 и 250403, изучающих учебные дисциплины "Теория и конструкции деревообрабатывающих машин" и "Оборудование отрасли". Учебное пособие раскрывает один из разделов указанных учебных дисциплин, посвященный точности обработки деталей на деревообрабатывающих станках. Студенты, изучающие этот раздел, получат знания по размеро- и формообразованию деталей, видах погрешностей, их распределении во времени, точности и жесткости станков. Студенты получат умения и навыки по применению математических методов определения погрешностей. Материал книги базируется на современном представлении о надежности деревообрабатывающих станков. В книге широко используются действующие ГОСТы.

В известных учебниках и учебных пособиях, написанных в разное время В.В. Амалицким и В.И. Саневым, а также группой авторов под редакцией Н.В. Маковского, раздел точности деревообрабатывающих станков раскрыт недостаточно подробно.

Излагаемый в книге материал систематизирован и методически обработан. Книга состоит из четырех глав.

В первой главе приведены основные сведения из теории вероятностей и математической статистики.

Во второй главе дана информация о технологической системе деревообрабатывающего цеха, приведен анализ основных элементов системы, главным образом, обрабатываемой детали и станка. Описаны основные погрешности размеров и формы деталей, причины их образования. Рассмотрены вопросы состояния технологической системы: работоспособное состояние, отказы, процессы, протекающие с различной скоростью, старение.

В третьей главе приведены методы определения основных геометрических погрешностей и нормы точности некоторых станков общего назначения.

В четвертой главе изложены стабильность технологических процессов, принципы наладки и настройки деревообрабатывающих станков и приведены математические методы управления процессом получения взаимозаменяемых деталей.

Предлагаемая книга полностью соответствует требованиям учебного пособия. Она содержит авторский текст и полномасштабный аппарат издания. Формулировки, подлежащие запоминанию, выделены в тексте жирным шрифтом. Для закрепления пройденного материала в главах приведены контрольные вопросы и задания.

Термины и обозначения, используемые в учебном пособии, унифицированы, единицы измерения физических величин приведены в соответствие с действующими стандартами.

Для понимания и запоминания излагаемого в книге материала необходимо подробно ознакомиться с первой главой. Надо вспомнить термины, определения и основные положения теории вероятностей и математической статистики. Надо потренироваться в решении примеров. В этом Вам, читатель, помогут контрольные вопросы и задания. Только после того, как Вы почувствуете уверенность в своих умениях и навыках, можно переходить к чтению других глав. Читайте книгу не подряд от начала до конца, а частями.

*Важно не то место, которое мы занимаем,  
а то направление, в котором мы движемся.*

Л.Н. Толстой

*Наука служит лишь для того, чтобы дать  
нам понятие о размерах нашего невежества.*

Ф. Ламенне

## **Введение**

Одним из критериев качества изделий из древесины является полное соответствие размеров и формы деталей, обработанных на станках, размерам и форме, указанным на чертежах. Технологическая точность деревообрабатывающих станков должна соответствовать запросам общества. При эксплуатации станков их технологическая точность систематически контролируется.

При проектировании нового деревообрабатывающего станка обязательно решается вопрос о том, к какому классу точности он должен относиться. В проекте станка закладываются соответствующие нормы точности и жесткости деталей и узлов станка.

Впервые точностью механической обработки древесины в Советском Союзе стали заниматься в 1932 г. В то время на деревообрабатывающих предприятиях внедрялась механизация сборочных процессов изделий. При выполнении научно-исследовательских работ впервые были получены численные значения погрешностей размеров деталей, обрабатываемых на станках, а также величина рассеяния размеров в обработанной партии деталей. Было доказано, что на деревообрабатывающих станках того времени можно было обработать детали с погрешностью размеров не менее 0,2 мм.

В то время впервые стали изучать точность деревообрабатывающих станков. Работами Ф.М. Манжоса, С.А. Воскресенского, М.Н. Орлова, А.Я. Соскина, В.И. Шибалова были установлены численные значения точности некоторых станков, а затем разработаны первые нормы точности станков.

Из зарубежных исследований того времени была известна лишь одна работа Шлезингера по испытанию деревообрабатывающих станков немецких фирм на точность. Рекомендуемые в работе нормы точности не учитывали требования к точности обрабатываемых деталей, и поэтому не считались совершенными.

С развитием на предприятиях страны механизации, конвейеризации и автоматизации процессов деревообработки возникла потребность изучения закономерности образования размеров и формы деревянных деталей. Возникла проблема создания системы допусков и посадок. Научные исследования в этом направлении стали выполняться в 1935 г. (работы В.Н. Михайлова, С.А. Ильинского, М.Е. Белоконь).

К середине сороковых годов В.Н. Михайловым была предложена первая система допусков и посадок в деревообработке. Несколько позднее появилась другая система допусков и посадок С.А. Ильинского (ЦНИИМОД), а затем система допусков и посадок И.В. Куликова (Всесоюзный институт авиационных материалов ВИАМ).

Предложенные системы допусков и посадок устанавливали разное число классов точности и содержали противоречия по некоторым вопросам. Назревала необходимость создания стандартной единой системы допусков и посадок, которая была создана в 1953 г. (ГОСТ 6449-53) и усовершенствована в 1976 г. (ГОСТ 6449-76) и в 1982 г. (ГОСТ 6449.1-82). В последней системе точность размеров характеризуется квалитетами. Для нужд деревообработки было выделено девять квалитетов: с 9 по 18.

Для решения многочисленных практических задач по определению точностного состояния станков, точности их настройки, возможности обработки однотипных деталей на станках различной точности и других широко используются методы теории вероятностей и математической статистики. В 1950 г. А.Н. Колмогоров подготовил работу с названием "Статистический приемочный контроль при допустимом числе дефектных изделий, равном нулю".

Статистические методы контроля в современных условиях применяют для оценки параметров технологического процесса и их изменений под влиянием различных факторов. Контролируются параметры оборудования, проверяются методы наладки, параметры изготавляемых изделий. При этом анализируется процесс и тенденции развития или стабилизации технологического процесса, близость его параметров к граничным значениям. Это позволяет предсказывать момент появления дефектного изделия и своевременно принять меры по предотвращению брака. Статистические методы позволяют определить точность оборудования, смещение центра группирования размеров во времени, вероятность выхода размера за пределы допуска, наличие запаса по точности. Такие данные позволяют управлять технологическим процессом, проводить необходимые корректировки, подналадки.

Для статистической оценки точности и стабильности технологических процессов стандартами предусмотрен ряд показателей и характеристик.

# **1. Некоторые понятия теории вероятностей и математической статистики**

## **1.1. Определение вероятности**

### **1.1.1. События**

Ключевым понятием теории вероятностей является **опыт (испытание)**: выполнение некоторой совокупности условий. Результат опыта называется событием. События подразделяются на достоверные, невозможные и случайные. Случайные события принято обозначать заглавными буквами начала латинского алфавита  $A, B, C, \dots$ , достоверное – символом  $\Omega$ , невозможное –  $\emptyset$ . Суммой событий  $A + B$  называется событие состоящее в наступлении в результате опыта хотя бы одного из них, а произведением  $A \cdot B$  – обоих событий. Событие  $\bar{A}$  называется противоположным  $A$ , если  $A \cdot \bar{A} = \emptyset$  и  $A + \bar{A} = \Omega$ , а операция нахождения  $\bar{A}$  – дополнением  $A$ .

Множество, замкнутое относительно операции сложения, умножения, и дополнения над некоторым набором событий, называется полем событий и обозначается  $S$ . Под вероятностью события  $A$  понимают степень его достоверности, являющуюся числовой функцией  $P(A)$ , определенной на поле событий  $S$ . Таким образом, вероятность есть число, характеризующее степень возможности появления события [1].

### **1.1.2. Аксиомы теории вероятностей**

Развитие теории вероятностей как строгой математической дисциплины произошло после введения великим русским ученым А.Н. Колмогоровым следующих аксиом:

Аксиома I. Для любого события  $A \in S$   
$$P(A) \geq 0.$$

Аксиома II. Вероятность достоверного события равна единице

$$P(\Omega) = 1.$$

Аксиома III. Если  $A_i \in S$   $i = 1, 2, \dots$   $A_i \cdot A_j = \emptyset$  для  $i \neq j$ ,

то

$$P\left(\sum_{i=1}^{\infty} A_i\right) = \sum_{i=1}^{\infty} P(A_i).$$

На основании этих аксиом методами формальной логики получены все результаты рассматриваемой теории.

### 1.1.3. Утверждения теории вероятностей

Из аксиом теории вероятностей вытекают следующие утверждения:

1.  $P(\emptyset) = 0$ .
2.  $0 \leq P(A) \leq 1$ .
3.  $P(\bar{A}) = 1 - P(A)$ .
4.  $P(A) \geq P(B)$ , если  $B \subseteq A$ .
5.  $P(A + B) = P(A) + P(B) - P(A \cdot B)$  - теорема о вероятности суммы.

6. Теорема о вероятности произведения

$$P(A \cdot B) = P(A/B)P(B),$$

где  $P(A/B)$  называется условной вероятностью  $A$  при условии наступления  $B$ . Если  $A$  и  $B$  независимы, то  $P(A/B) = P(A)$ .

7. Формула Бернулли. Пусть в результате опыта

- могут произойти лишь событие  $A$  – успех и событие  $\bar{A}$  ( $P(A) = p$ ;  $P(\bar{A}) = q = 1 - p$ ) – неуспех;
- опыт может быть произведен многократно;
- результаты опытов независимы, тогда вероятность наступления  $m$  успехов в  $n$  опытах равна

$$P_n(m) = C_n^m p^m q^{n-m}. \quad (1)$$

$$\text{Здесь } C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}.$$

**Пример.** Вероятность того, что расход электроэнергии в продолжение одних суток не превысит установленной нормы,

равна  $p = 0,75$ . Найти вероятность того, что в ближайшие 6 суток расход электроэнергии в течение 4 суток не превысит нормы.

*Решение.* Вероятность нормального расхода электроэнергии в продолжение каждого из 6 суток постоянна и равна  $p = 0,75$ . Следовательно, вероятность перерасхода электроэнергии в каждые сутки тоже постоянна и равна  $q = 1 - 0,75 = 0,25$ .

Искомая вероятность по формуле Бернулли

$$P_6(4) = C_6^4 p^4 q^{6-4} = \frac{6!}{4!(6-4)!} 0,75^4 0,25^2 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot (1 \cdot 2)} 0,75^4 0,25^2 = 0,3.$$

8. Отметим, что  $C_n^m$  - величина трудно вычислимая, поэтому при больших значениях  $n$  используется приближенная формула.

$$P_n(m) \approx \frac{1}{\sqrt{npq}} \varphi\left(\frac{m-np}{\sqrt{npq}}\right), \text{ где } \varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$$

- локальная

теорема Муавра –Лапласа.

Из нее может быть получена формула

$$9. P_n(m_1 \leq m \leq m_2) \approx \Phi\left(\frac{m_2 - np}{\sqrt{npq}}\right) - \Phi\left(\frac{m_1 - np}{\sqrt{npq}}\right)$$

- интегральная теорема Муавра –Лапласа.

$$\text{Здесь } \Phi(x) = \int_0^x \varphi(x) dx$$

- функция Лапласа.

Значения функций  $\varphi(x)$  и  $\Phi(x)$  можно найти из таблиц с учетом четности первой и нечетности второй.

На практике для исчисления вероятностей используются следующие, согласующиеся с аксиомами Колмогорова подходы.

1. *Классический.* Предполагается, что в результате опыта может произойти лишь конечное число несовместных равновероятных событий  $\omega_1, \dots, \omega_n$  и

$$\begin{aligned} & \left. \begin{aligned} & \omega_i \cdot \omega_j = \emptyset, \quad p(\omega_i) = p(\omega_j) \text{ при} \\ & i \neq j \sum_{i=1}^n p(\omega_i) = 1 \end{aligned} \right\}. \text{Вероятность любого события } A \text{ определяется} \end{aligned}$$

как число  $m$  событий  $\omega_i$ , благоприятствующих наступлению  $A$ , к их общему числу

$$P(A) = \frac{m}{n}. \quad (2)$$

2. *Статистический.* Пользуясь интегральной теоремой Муавра – Лапласа, можно найти значение вероятности того, что частота успехов в  $n$  опытах

$$W = \frac{m}{n} \quad (3)$$

отличается от вероятностей успеха  $p$  меньше чем на  $\varepsilon$ :

$$P\left(\left|\frac{m}{n} - p\right| < \varepsilon\right) = P(n(p - \varepsilon) < m < n(p + \varepsilon)) \approx 2\Phi\left(\sqrt{\frac{n}{pq}}\varepsilon\right).$$

Так как  $\Phi(x) \rightarrow \frac{1}{2}$  при  $x \rightarrow \infty$ , то  $P\left(\left|\frac{m}{n} - p\right| < \varepsilon\right) \rightarrow 1$  при

$n \rightarrow \infty$  – теорема Бернуlli.

Важность этой теоремы состоит в том, что вместо неизвестной вероятности  $p$  можно использовать результат  $n$  опытов частоту  $\frac{m}{n}$ , причем их отличие меньше чем на  $\varepsilon$  становится практически достоверным событием при больших значениях  $n$ . Этот принцип лежит в основе всех статистических исследований.

## 1.2. Случайные величины

### 1.2.1. Функция распределения

На содержательном уровне случайной величиной называется числовая характеристика, связанная с изучаемым объектом, значение которой принципиально не может быть предсказано и зависит от случая. Обозначаются случайные величины прописными буквами конца латинского алфавита, а их возможные значения – соответствующими строчными буквами.

Функцией распределения случайной величины  $X$  называется числовая функция числового аргумента, определяемая равенством  $F(x) = P(X \leq x)$ ,  $x \in R$ . Часто, чтобы подчеркнуть

связь функции распределения со случайной величиной, используют обозначение  $F(x) = F_X(x)$ . Каждая функция распределения обладает следующими свойствами:

- $0 \leq F(x) \leq 1$ ;
- $F(x)$  – неубывающая, непрерывная справа функция;
- $\lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) = 0$ ,  $\lim_{x \rightarrow +\infty} F(x) = 1$ .

Верно и обратное, т.е. любая функция, удовлетворяющая перечисленным условиям, является функцией распределения некоторой случайной величины. Нестрого говоря, функция распределения содержит полную информацию о случайной величине  $X$ , в частности, для любых  $a < b$ .

$$P(a < x \leq b) = F(b) - F(a).$$

Чаще всего приходится иметь дело с двумя типами случайных величин – дискретным и непрерывным.

### 1.2.2. Дискретные случайные величины

Случайная величина  $X$  называется дискретной, если множество ее значений конечно или счетно. Несмотря на то, что функция распределения универсальным образом описывает вероятностный характер случайной величины, дискретную случайную величину удобней описывать с помощью таблицы

$x$	$x_1$	$x_2$	$\dots$
$p$	$p_1$	$p_2$	$\dots$

называемой рядом распределения.  
При этом  $\sum p_i = 1$ .

**Пример 1.** При работе круглопильного прирезного станка возможно получение заготовок с прямолинейным и криволинейным пропилом. При прямолинейном пропиле допустимая стрела прогиба (выпуклости) на 1 м длины заготовки не превышает 0,5 мм, а при криволинейном – более 0,5 мм/м. При проведении испытаний станка нас интересуют события  $A$  – получение прямолинейного пропила.

Пусть событие  $A$  может наступить с вероятностью  $p$ , тогда вероятность события  $\bar{A}$  (получение криволинейного пропила) равна  $q = 1 - p$ .

Проведя  $n$  испытаний, можем обнаружить следующее: событие  $A$  может не появиться, может появиться 1 раз, может появиться 2 раза, . . . , может появиться  $n$  раз. Дискретная случайная величина  $X$  принимает такие значения:

$$x_1 = 0; \quad x_2 = 1; \quad x_3 = 2 \dots x_{n+1} = n.$$

Для нахождения вероятностей этих возможных значений можно воспользоваться формулой Бернулли:

$$P_n(k) = C_n^k p^k q^{n-k}, \text{ где } k = 0, 1, 2, \dots, n.$$

**Пример 2.** Пусть событие  $A$  – получение заготовок с прямолинейным пропилом. Вероятность наступления события  $A$   $P(A) = 0,8$ . Вероятность получения заготовок с криволинейным пропилом  $q = 1 - p = 1 - 0,8 = 0,2$ . Какова вероятность того, что в 6 испытаниях заготовки с прямолинейным пропилом будут получены 5 раз?

*Решение.* По формуле Бернулли

$$P_6(5) = C_6^5 p^5 q^{6-5} = \frac{6!}{5!(6-5)!} 0,8^5 0,2 = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot (1 \cdot 2)} 0,8^5 0,2 = 0,393.$$

### 1.2.3. Непрерывные случайные величины

Случайная величина  $X$  называется непрерывной, если ее функция распределения дифференцируема, т.е. существует производная  $p(x) = F'(x)$ , называемая плотностью распределения случайной величины  $X$ .

В этом случае для любого (измеримого) множества  $A \subseteq R$  справедливо равенство

$$P(X \in A) = \int_A p(x) dx.$$

В частности,  $F(x) = \int_{-\infty}^x p(y) dy$ . Плотность распределения

обладает следующими свойствами:

- $p(x) \geq 0$  при любом  $x \in R$ ;

$$\begin{aligned}
 - & \int_{-\infty}^{+\infty} p(y) dy = 1. \\
 - & P(a < x < b) = \int_a^b p(x) dx.
 \end{aligned}$$

Обратно, любая функция, удовлетворяющая указанным условиям, является плотностью распределения некоторой случайной величины.

**Пример.** Случайная величина  $X$  задана плотностью распределения вероятностей

$$p(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ a(3x - x^2), & 0 \leq x \leq 3, \\ 0, & x > 3. \end{cases}$$

Найти коэффициент  $a$  и вероятность того, что  $X$  примет значение  $x < 1$ .

*Решение.* Так как все возможные значения случайной величины принадлежат отрезку  $[0, 3]$ , то

$$P(0 < x < 3) = \int_0^3 a(3x - x^2) dx = 1,$$

$$\text{откуда } a\left[\frac{3}{2}x^2 - \frac{1}{3}x^3\right]_0^3 = 1, \text{ или } a\left[\frac{27}{2} - \frac{18}{2}\right] = 1, a = \frac{2}{9}.$$

Вероятность того, что случайная величина  $X$  примет значение  $0 < x < 1$ , находится из равенства

$$P(0 < X < 1) = \frac{2}{9} \int_0^1 (3x - x^2) dx = \frac{2}{9} \left[\frac{3}{2}x^2 - \frac{1}{3}x^3\right]_0^1 = \frac{2}{9} \left[\frac{3}{2} - \frac{1}{3}\right] = \frac{7}{27}.$$

#### 1.2.4. Нормальное распределение

Случайную величину  $X$  называют нормально распределенной  $[2, 3]$ , если ее плотность имеет вид

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-a)^2/2\sigma^2}. \quad (4)$$

Нормальное распределение определяется параметрами  $a$  и  $\sigma$  (рис. 1), где  $a$  – математическое ожидание;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение нормального распределения (см. ниже).

С увеличением параметра  $\sigma$  нормальная кривая становится ниже, положе и шире. С изменением математического ожидания  $a$  форма нормальной кривой не изменяется, только кривая смещается вправо, если значение  $a$  увеличивается, или влево, если  $a$  уменьшается. Площадь под кривой плотности равна 1.

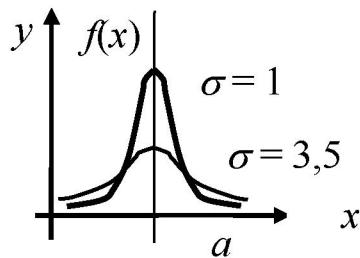


Рис. 1. Графики  
плотностей нормального  
распределения

Функция распределения

$$F(x) = \int_0^x p(x)dx = \frac{1}{2} + \int_0^x f(x)dx = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{x-a}{\sigma}\right),$$

следовательно, вероятность принятия значения из интервала  $[x_1; x_2]$  для нормального распределения случайной величины с параметрами  $a$  и  $\sigma$  может быть определена по формуле

$$P(x_1 \leq x \leq x_2) = \Phi\left(\frac{x_2-a}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_1-a}{\sigma}\right) \quad (5)$$

при помощи таблицы значений функции Лапласа  $\Phi(x)$ .

Приведем вероятности попадания значений нормально распределенной случайной величины в некоторые интервалы (табл. 1).

Таблица 1  
Величина площади под кривой Гаусса при  
различных границах изменения случайной величины

Границы промежутка	Площадь под кривой плотности
Односигмовые $[a - \sigma; a + \sigma]$	0,6827
Двухсигмовые $[a - 2\sigma; a + 2\sigma]$	0,9545
Трехсигмовые $[a - 3\sigma; a + 3\sigma]$	0,9973

Односигмовые границы соответствуют точкам перегиба кривой плотности. Участок, лежащий внутри трехсигмовых границ, иногда называют областью статистического допуска параметра качества соответствующего изделия или процесса его изготовления.

**Правило трех  $\sigma$ : площадь, лежащая за пределами трехсигмового интервала, равна  $1 - 0,9973 = 0,0027$ .**

Таким образом, вероятность того, что случайная величина выйдет за его пределы, весьма близка к нулю.

## 1.3. Числовые характеристики случайных величин

### 1.3.1. Математическое ожидание

Функция распределения хотя и дает полную информацию о законе распределения случайной величины, однако может оказаться труднообозримой. Поэтому иногда бывает достаточно информации о её числовых характеристиках, дающих менее полное, но более наглядное представление. Одной из таких характеристик является *математическое ожидание* или *генеральное среднее*. Это понятие связано со средним значением случайной величины при большом числе испытаний.

**Математическое ожидание дискретной случайной величины  $X$**  есть по определению

$$M(x) = \sum_i p_i x_i. \quad (6)$$

Таким образом, **математическим ожиданием дискретной случайной величины называют сумму произведений всех ее возможных значений на их вероятности:**

$$M(X) = x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n = \sum x_i p_i.$$

**Пример 1.** Найти математическое ожидание случайной величины  $X$ , заданной следующим рядом:

$X$	7	8	6	5
$p$	0,2	0,5	0,2	0,1

*Решение.* Находим сумму произведений значений случайной величины  $X$  на их вероятности  $p$ :

$$M(x) = 7 \cdot 0,2 + 8 \cdot 0,5 + 6 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 = 7,1.$$

**Для непрерывной случайной величины  $X$**  с плотностью распределения  $p(x)$  математическое ожидание – это интеграл

$$E(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} xp(x)dx. \quad (7)$$

Математическое ожидание имеет следующие свойства ( $x, y$  - произвольные случайные величины,  $a, b$  - константы):

- $E(a) = a;$
- $E(ax + by) = aE(x) + bE(y);$
- если  $x \geq y$  при всех реализациях, то  $E(x) \geq E(y);$
- если  $X, Y$  независимы, то  $E(x y) = E(X)E(Y);$

– если  $x$  - непрерывная случайная величина с плотностью распределения  $p(x)$ , а  $q(x)$ ,  $x \in R$  - числовая функция случайной величины  $Y = q(X)$ , то

$$E(Y) = \int_{-\infty}^{+\infty} q(x)p(x)dx. \quad (8)$$

**Пример 2.** Случайная величина задана плотностью

$$\begin{cases} 0, & x < 0, \\ p(x) = \lambda(4x - x^3), & 0 \leq x \leq 2, \\ 0, & x > 2. \end{cases}$$

Определить значение  $\lambda$  и математическое ожидание  $E(X)$ .

*Решение.* Плотность распределения  $p(x)$  должна удовлетворять условию  $\int_{-\infty}^{+\infty} p(x)dx = 1$ . Так как значения  $x$  изменяются на отрезке  $[0, 2]$ , то потребуем, чтобы выполнялось равенство

$$\lambda \int_0^2 (4x - x^3)dx = 1; \quad \lambda \left[ \frac{4}{2}x^2 - \frac{1}{4}x^4 \right]_0^2 = 1; \quad \lambda \left[ \frac{4}{2}4 - \frac{1}{4}16 \right] = 1; \quad \lambda = \frac{1}{4}.$$

Таким образом, при  $\lambda = 1/4$  функция  $p(x) = \lambda(4x - x^3)$  может быть принята за плотность вероятности случайной величины  $X$ .

Математическое ожидание этой случайной величины  $X$  находится по формуле

$$E(x) = \int_0^2 x \cdot \frac{1}{4} (4x - x^3) dx = \int_0^2 \left( x^2 - \frac{1}{4} x^4 \right) dx = \left[ \frac{1}{3} x^3 - \frac{1}{20} x^5 \right]_0^2 = \frac{16}{15}.$$

### 1.3.2. Дисперсия. Среднее квадратическое отклонение

Другой важнейшей числовой характеристикой случайной величины  $X$  является дисперсия  $D(X)$ , отражающая степень рассеяния значений случайной величины относительно математического ожидания. Она может быть определена равенством

$$D(x) = E((x - M(x))^2). \quad (9)$$

Дисперсия имеет следующие свойства:

- $D(a) = 0$ ;
- $D(aX) = a^2 X$ ;
- $D(X) = E(X^2) - E^2(X)$  – упрощенная формула дисперсии;

– если  $X, Y$  независимые случайные величины

$$D(X \pm Y) = D(X) + D(Y).$$

**Пример 1.** Найти дисперсию дискретной случайной величины  $X$ , заданной следующим законом распределения:

$X$	2	3	4
$p$	0,2	0,6	0,2

*Решение.* Найдем дисперсию по определению. Для этого сначала находим математическое ожидание

$$M(X) = 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,2 = 3.$$

Находим возможные квадраты отклонения:

$$\begin{aligned} [x_1 - M(X)]^2 &= (2 - 3)^2 = 1; \\ [x_2 - M(X)]^2 &= (3 - 3)^2 = 0; \\ [x_3 - M(X)]^2 &= (4 - 3)^2 = 1. \end{aligned}$$

Напишем закон распределения квадрата отклонения:

$[x_1 - M(X)]^2$	1	0	1
$p$	0,2	0,6	0,2

Находим дисперсию, равную математическому ожиданию квадрата отклонения:

$$D(X) = 1 \cdot 0,2 + 0 \cdot 0,6 + 1 \cdot 0,2 = 0,4.$$

Для упрощения расчетов пользуются другим ее определением.

Дисперсия равна разности между математическим ожиданием квадрата случайной величины  $X$  и квадратом ее математического ожидания:

$$D(X) = M(X^2) - [M(X)]^2.$$

**Пример 2.** Найти дисперсию случайной величины  $X$ , заданной следующим законом распределения:

$X$	2	4	6
$p$	0,2	0,5	0,3

*Решение.* Найдем дисперсию с помощью упрощенной формулы. Для этого находим математическое ожидание  $M(X)$

$$M(X) = 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,5 + 6 \cdot 0,3 = 4,2.$$

Напишем закон распределения случайной величины  $X^2$ :

$X^2$	4	16	36
$p$	0,2	0,5	0,3

Математическое ожидание  $M(X^2)$ :

$$M(X^2) = 4 \cdot 0,2 + 16 \cdot 0,5 + 36 \cdot 0,3 = 19,6.$$

Дисперсия

$$D(X) = M(X^2) - [M(X)]^2 = 19,6 - [4,2]^2 = 1,96.$$

Некоторое неудобство при использовании дисперсии состоит в том, что ее размерность соответствует квадрату размерности случайной величины  $X$ , поэтому для характеристики рассеяния чаще применяют **среднее квадратическое отклонение**

$$\sigma(x) = \sqrt{D(x)}. \quad (10)$$

Его свойства непосредственно следуют из свойств дисперсии.

**Пример 3.** Пусть  $X$  - случайная величина, распределенная по нормальному закону с параметрами  $a$  и  $\sigma$ , тогда  $E(x)=a$ ,  $\sigma(x)=\sigma$ .

## 1.4. Мода и медиана. Квантили

Кроме математического ожидания и дисперсии в теории вероятностей применяются и другие числовые характеристики.

Модой  $Mo(X)$  случайной величины  $X$  называется ее наиболее вероятное значение (для которого вероятность  $p_i$  или плотность  $p(x)$  достигают максимума).

Медианой  $Me(X)$  непрерывной случайной величины  $X$  называется такое ее значение, для которого

$$P(x < Me(X)) = P(x > Me(X)) = \frac{1}{2}. \quad (11)$$

Квантилем уравнения  $\alpha$  (или  $\alpha$ -квантилем) называется такое значение  $x_\alpha$  случайной величины  $X$ , при котором ее функция распределения принимает значение, равное  $\alpha$

(рис. 2)

$$F(x_\alpha) = P(X \leq x_\alpha) = \alpha. \quad (12)$$

Очевидно, что медиана является квантилем уравнения 0,5. Квантили  $x_{0,25}, x_{0,75}$  называют верхним

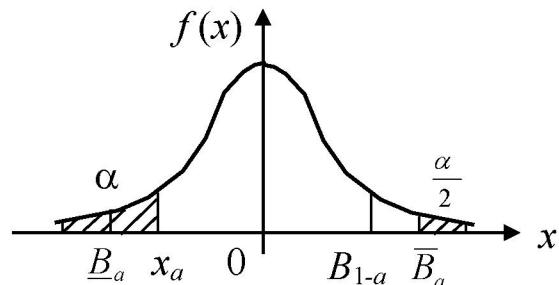


Рис. 2. Квантили

и нижним. Встречаются такие термины, как децили (квантили  $x_{0,01}, x_{0,02}, \dots, x_{0,9}$ ) и процентили (квантили  $x_{0,01}, x_{0,02}, \dots, x_{0,99}$ ). С понятием квантиля связано понятие  $\alpha$ -процентной точки. Под  $100\alpha\%$  процентной точкой понимается квантиль  $x_{1-\alpha}$ , т.е. такое значение случайной величины  $X$ , при котором  $P(X > x_{1-\alpha}) = \alpha$ .

Квантили  $x_\alpha, x_{1-\alpha}$  иногда называют **левосторонней и правосторонней критическими границами**, отвечающими вероятности  $\alpha$   $B_\alpha, B_{1-\alpha}$

Двусторонними критическими границами, отвечающими вероятности  $\alpha$ , называют квантили  $x_{\frac{\alpha}{2}}, x_{1-\frac{\alpha}{2}}$  и обозначают  $\underline{B}_\alpha, \overline{B}_\alpha$ .

## Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение события.
2. Сформулируйте определение вероятности  $P(A)$ .
3. Поясните правила применения формулы Бернулли.
4. Определите математическое ожидание следующего ряда распределения случайной величины  $X$ :

$X$	17	28	16	13
$p$	0,3	0,4	0,2	0,1

5. Определите математическое ожидание, если случайная величина  $X$  имеет следующий ряд распределения:

$X$	5	9	8	6
$n$	6	8	10	6

6. Найдите дисперсию случайной величины  $X$ , заданной следующим законом распределения:

$X$	2	4	3	1
$p$	0,2	0,3	0,4	0,1

7. Дайте определение среднего квадратического отклонения.
8. Поясните правило трех сигм.
9. Что такое квантиль?

## 1.5. Ключевые понятия математической статистики

### 1.5.1. Генеральная совокупность

При решении практических задач зачастую приходится исследовать свойства некоторой случайной величины, характеристики которой не могут быть известны. Мыслимый набор значений этой случайной величины принято называть **генеральной совокупностью**. Задача математической статистики состоит в изучении вероятностных характеристик генеральной совокупности по эмпирическим данным. Исходным материалом при реше-

нии задач математической статистики является последовательность независимых наблюдений над случайной величиной.

### 1.5.2. Выборка

Наблюдаемые значения случайной величины  $x_1, x_2, \dots, x_n$  называются **случайной выборкой**, а число  $n$  – ее **объемом**. С точки зрения теории вероятностей выборка является последовательностью независимых одинаково распределенных случайных величин.

Так, например, для определения показателей точности и стабильности деревообрабатывающих станков используют следующие виды выборок [4].

**Мгновенная выборка**, состоящая из 5 . . . 20 деталей, полученных в последовательности их обработки на одном станке.

**Общая выборка**, состоящая из 10 и более мгновенных выборок, взятых последовательно с одного станка за межнастроочный период с момента установки нового инструмента или его замены.

**Выборка из случайно отобранных деталей** объемом 50 . . . 200 деталей, изготовленных при одной или нескольких настройках на одном станке.

**Выборка из случайно отобранных деталей** объемом 50 . . . 200 деталей, изготовленных группой станков, выполняющих одну и ту же операцию при различных настройках.

Физические значения изучаемого признака (случайной величины  $X$ ) называются **вариантами**. Числа, показывающие сколько раз варианта встречается в выборке, называются частотами (обозначается  $n_i$ ), а отношение их к общему числу относительными частотами  $\left( W_i = \frac{n_i}{n} \right)$ . **Вариационным рядом** называется ранжированный в порядке возрастания ряд вариантов с соответствующими частотами.

**Пример.** Из генеральной совокупности извлечена выборка объемом  $n = 30$ . Распределение частот выборки:

$x_i$	4	7	15
$n_i$	9	15	6

Распределение относительных частот:

$$\begin{array}{cccc} x_i & 4 & 7 & 15 \\ n_i & 0,3 & 0,5 & 0,2 \end{array}$$

### 1.5.3. Графики статистического распределения

Для графического изображения вариационного ряда наиболее часто используются полигон и гистограмма.

**Полигон частот** есть график зависимости частот от вариантов. Кривая графика – ломаная линия (рис. 3). При построении полигона частот по оси ординат графика откладывают частоты, а по оси абсцисс – варианты. Полученные точки соединяют прямыми линиями.

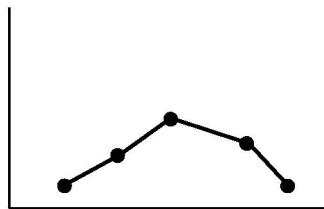


Рис. 3. Полигон частот значений признака  $[x_i; x_{i+1}]$  и высотами, равными частотам  $n_i(w_i)$ , отнесенными к  $x_{i+1} - x_i$ .

Иногда строят полигон относительных частот [5].

**Гистограмма** используется для рассмотрения интервальных вариационных рядов и является ступенчатой фигурой из прямоугольников с равными интервалами

**Пример.** Построить гистограмму частот, если варианты выборки заданы интервалами длиною  $h = 0,05$  мм, и известны суммы частот вариант интервалов  $n_i$  (табл. 2).

Таблица 2

Подготовка данных для построения гистограммы

Интервал	Границы интервалов, мм	Середина интервалов $x_i$ , мм	Сумма частот variant частичного интервала $n_i$	Плотность частоты $n_i/h$
1	10,05-10,10	10,075	2	40
2	10,11-10,15	10,125	5	100
3	10,16-10,20	10,175	6	120
4	10,21-10,25	10,225	8	160
5	10,26-10,30	10,275	3	60
6	10,31-10,35	10,325	4	80
7	10,36-10,40	10,375	1	20
8	10,41-10,45	10,425	1	20

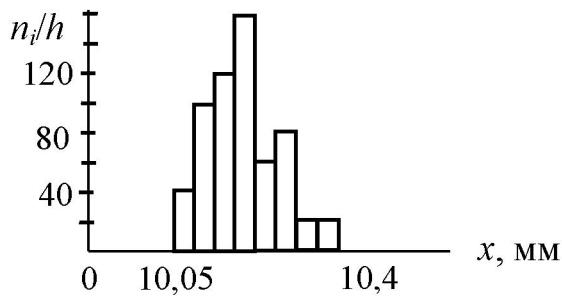


Рис. 4. Гистограмма частот распределения объема выборки  $n = 30$

Площадь одного прямоугольника равна  $h \cdot n_i/h = n_i$  – равна сумме частот вариантов, входящих в один интервал. Площадь всей гистограммы равна объему выборки  $n$  (рис. 4).

## 1.6. Оценивание параметров

### 1.6.1. Виды оценок

Оценкой числового параметра генеральной совокупности  $\Theta$  называется функция выборочных значений  $\hat{\Theta}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \hat{\Theta}_n$ , которая в некотором смысле близка к истинному значению  $\Theta$ . Отметим, что  $\hat{\Theta}_n$  является случайной величиной.

Частота  $W$  успехов в  $n$  повторных испытаниях является оценкой вероятности успеха  $p$ .

Хорошие оценки удовлетворяют требованиям состоятельности, несмещенности и эффективности.

Оценка называется **несмещенной**, если ее математическое ожидание равно истинному значению числовой характеристики:

$$E(\hat{\Theta}_n) = \Theta.$$

Оценка называется **состоятельной**, если для любого  $\varepsilon > 0$

$$P(|\hat{\Theta}_n - \Theta| \leq \varepsilon) \rightarrow 1 \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

Оценка называется **эффективной**, если она имеет минимальную дисперсию среди других оценок.

**Замечание 1.** Из теоремы Бернулли следует, что частота  $w$  является состоятельной оценкой вероятности  $p$ . Она также является несмешенной и эффективной.

**Замечание 2.** Выборочная средняя  $\bar{x}_n = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$  является состоятельной, несмешенной и эффективной оценкой для  $E(x)$ .

**Пример 1.** Найти оценку среднего двух выборок:

Выборка	первая	вторая
Значения $x_i$	2	4
Частота	15	12
Объем	$15+12=27$	$15+10=25$

*Решение.* Находим групповые средние:

$$\bar{x}_1 = (2 \cdot 15 + 4 \cdot 12) / 27 = 2,88;$$

$$\bar{x}_2 = (3 \cdot 15 + 5 \cdot 10) / 25 = 3,80.$$

По групповым средним находим общую среднюю:

$$\bar{x} = (2,88 \cdot 27 + 3,8 \cdot 25) / (27 + 25) = 3,32.$$

**Замечание 3.** Исправленная дисперсия

$$S^2 = \left( \sum_{i=1}^n n_i (x_i - \bar{x}_n)^2 \right) / (n - 1)$$

является несмешенной, состоятельной и эффективной оценкой для  $D(X)$ .

При  $n > 30$  знаменатель часто заменяют на  $n$  и  $S^2 \approx \bar{x}^2 - (\bar{x})^2$ . Для оценки среднего квадратического отклонения генеральной совокупности используют «исправленное» среднее квадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\left( \sum_{i=1}^k n_i (x_i - \bar{x}_e)^2 \right) / (n - 1)}. \quad (13)$$

**Пример 2.** Найти оценку дисперсии по вариационному ряду

$x_i$	2	4	6	8
$n_i$	10	15	12	10

*Решение.* Находим общую среднюю:

$$\bar{x} = \frac{2 \cdot 10 + 4 \cdot 15 + 6 \cdot 12 + 8 \cdot 10}{10 + 15 + 12 + 10} = \frac{232}{47} = 4,936.$$

Находим среднюю квадратов значений:

$$\bar{x}^2 = \frac{2^2 \cdot 10 + 4^2 \cdot 15 + 6^2 \cdot 12 + 8^2 \cdot 10}{10 + 15 + 12 + 10} = \frac{1322}{47} = 28,127.$$

Дисперсия

$$S^2 = \bar{x}^2 - [\bar{x}]^2 = 28,127 - 4,936^2 = 3,763.$$

Чтобы получить представление об ошибке точечной оценки  $\hat{\Theta}_n$  параметра  $\Theta$  с необходимой надежностью, используют интервальную оценку параметра.

### 1.6.2. Интервальная оценка

**Интервальной оценкой** (доверительным интервалом) для неизвестного параметра  $\Theta$  с надежностью  $\gamma$  называется числовой интервал  $(\Theta_n^1, \Theta_n^2)$ , такой, что  $P(\Theta_n^1 \leq \Theta \leq \Theta_n^2) \geq \gamma$ . Рассмотрим правило построения некоторых интервальных оценок.

**Доверительный интервал для вероятности  $p$  с надежностью  $\gamma$**  имеет вид:

$$w - \Delta \leq p \leq w + \Delta,$$

где  $w$  – относительная частота, а  $\Delta$  находится из условия  $\frac{\gamma}{2} = \Phi\left(\Delta \sqrt{\frac{n}{w(w-1)}}\right)$  по таблице функции Лапласа.

**Доверительный интервал для  $E(x)$  при объеме выборки  $n \geq 30$ :**

$$\bar{x} + \Delta \leq E(x) \leq \bar{x} - \Delta,$$

где  $\bar{x}$  – выборочная средняя, а  $\Delta$  определяется из условия  $\frac{\gamma}{2} = \Phi\left(\Delta \frac{\sqrt{n}}{S}\right)$ .

**Пример 1.** Случайная величина  $X$  с  $S = 0,45$ . Объем выборки  $n = 50$ . Среднее выборки  $\bar{x} = 20,8$ . Оценить математическое ожидание  $\mu$  доверительным интервалом с надежностью  $\gamma = 0,99$

*Решение.* Найдем значение  $t$  из выражения  $2\Phi(t) = \gamma$ , где  $\Phi(t)$  - значение функции Лапласа (приводится в справочных таблицах).  $\Phi(t) = \gamma/2 = 0,99/2 = 0,495$ . По таблице находим  $t = 2,58$ .

Найдем точность оценки:

$$\Delta = tS/\sqrt{n} = 2,58 \cdot 0,45 / \sqrt{50} = 0,164.$$

Границы доверительного интервала:

$$\bar{x} - \Delta = 20,8 - 0,164 = 20,636; \quad \bar{x} + \Delta = 20,8 + 0,164 = 20,964.$$

**Доверительный интервал для  $E(x)$  с надежностью  $\gamma$**  при  $n < 30$  для нормально распределенной генеральной совокупности может быть определен по формуле

$$\bar{x} - \frac{t(x, n-1)S}{\sqrt{n-1}} \leq E(x) \leq \bar{x} + \frac{t(x, n-1)S}{\sqrt{n-1}},$$

где,  $t(x, n-1)$  – квантиль порядка  $\gamma$  распределения Стьюдента с  $n-1$  степенью свободы, находится по таблице критических точек распределения Стьюдента.

**Пример 2.** Случайная величина  $X$  имеет нормальное распределение, значение среднего квадратического распределения  $\sigma$  неизвестно. Объем выборки  $n = 21$ . Среднее выборки  $\bar{x} = 10,8$ , «исправленное» среднее квадратическое отклонение  $s = 0,5$ . Оценить неизвестное математическое ожидание  $\mu$  доверительным интервалом с надежностью  $\gamma = 0,99$ .

*Решение.* Найдем значение  $t_\gamma$ . По таблице по известным значениям  $\gamma = 0,99$  и  $n-1 = 20$

находим  $t_\gamma = 2,861$ .

Найдем точность оценки:

$$\delta = t_\gamma s / \sqrt{n-1} = 2,861 \cdot 0,5 / \sqrt{20} = 0,32.$$

Границы доверительного интервала:

$$\bar{x} - \delta = 10,8 - 0,32 = 10,48; \quad \bar{x} + \delta = 10,8 + 0,32 = 11,12.$$

**Доверительный интервал для неизвестного среднеквадратичного отклонения** генеральной совокупности имеет вид

$$s(1-q) \leq \delta \leq s(1+q) \text{ для } q < 1;$$

$$0 \leq \delta \leq s(1+q) \text{ для } q \geq 1;$$

величина  $q = q(\gamma, n - 1)$  находится по таблице.

**Пример 3.** Случайная величина  $X$  имеет нормальное распределение. По выборке объемом  $n = 26$  найдено «исправленное» среднее квадратическое отклонение  $s = 0,6$ . Найти доверительный интервал, покрывающий генеральное среднее квадратическое отклонение  $\delta$  с надежностью 0,95.

В такой задаче доверительный интервал определяется из условия

$$s(1-q) < \delta < s(1+q),$$

где  $q$  – табличное значение.

*Решение.* По таблице по заданной вероятности  $\gamma = 0,95$  и объему выборки  $n = 26$  находим  $q = 0,32$ . Тогда искомый доверительный интервал будет таков:

$$0,6(1-0,32) < \delta < 0,6(1+0,32), \text{ или } 0,408 < \delta < 0,792.$$

## 1.7. Проверка гипотез

Проверку на основе выборочных наблюдений, различных предположений относительно генеральной совокупности называют проверкой гипотез.

Примеры часто используемых статистических гипотез:

- нормально распределенная случайная величина  $X$  имеет генеральную среднюю  $a$ , равную  $a_o$ ;
- нормально распределенная случайная величина  $X$  имеет дисперсию, равную  $\sigma_0^2$ ;
- выборка  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  взята из нормально распределенной генеральной совокупности.

Обычно выделяют некоторую основную (нулевую) гипотезу  $H_o: a = a_o$ .

Наряду с  $H_o$  рассматривают конкурирующую альтернативную) гипотезу  $H_1$ , которая логически отрицает  $H_o$ . Гипотезу  $H_1$  записывают так: гипотеза  $H_1 : a = a_1$  или  $H_1 : a < a_0$  и т.д.

Схематично все выборочное пространство делится на две области – область  $S$  отклонения основной гипотезы  $H_o$  и область  $\bar{S}$  принятия этой гипотезы. Если выборочная точка  $x$  попадает в область  $S$ , то основная гипотеза  $H_o$  отклоняется и принимается гипотеза  $H_1$ . Если выборочная точка  $x$  попадает в область  $\bar{S}$ , то принимается основная гипотеза  $H_o$  и отклоняется гипотеза  $H_1$ .

При этом рассматривают ошибку первого ряда, когда с вероятностью  $\alpha$  принимается неверная гипотеза  $H_1$  правильности гипотезы  $H_o$ . В данном случае  $\alpha$  называют уравнением значимости и используют его стандартные значения:  $\alpha = 0,05; 0,01; 0,005; 0,001$ .

При правильном решении гипотеза  $H_o$  принимается тогда, когда на самом деле верна  $H_o$  для генеральной совокупности. Вероятность такого решения  $p = 1 - \alpha$ .

Важным моментом является проверка гипотезы о нормальном распределении генеральной совокупности по критерию согласия Пирсона ( $\chi^2$ -критерию).

Критерий основан на сравнении эмпирических относительных частот интервалов группировки с теоретическими частотами для этих интервалов. Критерий применяется, если объем выборки  $n \geq 40$ , выборочные данные сгруппированы в интервальный вариационный ряд с числом интервалов не менее семи.

Гипотеза  $H_o$ : плотность распределения генеральной совокупности, из которой взята выборка, соответствует нормальному распределению с параметрами  $a = \bar{x}, \delta = S$ .

Критерий согласия Пирсона применяется по следующей схеме.

1. Выбирается уровень значимости  $\alpha$ .
2. Получается выборка объема  $n \geq 40$  независимых наблюдений, и эмпирическое распределение представляется в виде интервального ряда распределения.

3. В качестве генеральных параметров распределения, с которыми предстоит сравнить эмпирическое распределение, рассчитываются выборочные характеристики  $\bar{x}, S$ .

4. По опытным данным строится предлагаемый закон распределения. Вычисляются значения теоретических частот  $n'_i$  попадания в  $i$ -интервал группировки по формуле

$$n'_i = n \left( \Phi\left(\frac{x_{i+1} - \bar{x}}{S}\right) - \Phi\left(\frac{x_i - \bar{x}}{S}\right) \right),$$

Если вычисленные теоретические частоты  $n'_i$  некоторых интервалов группировки меньше 5, то соседние интервалы объединяются так, чтобы их суммарная частота была меньше или равна 5. Соответственно складываются и эмпирические частоты объединяемых интервалов.

5. Значение  $\chi^2$  - критерия рассчитывается по формуле:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n'_i - n_i)^2}{n'_i}, \quad (14)$$

где  $n'_i$  – теоретические частоты;  $n_i$  – эмпирические частоты;

$k$  – число интервалов группировки после объединения.

6. Уровень значимости  $\alpha$  выбирается из условия приемлемости вероятности: при  $(1 - \alpha)$  принятия гипотезы  $H_0$  следует отвергнуть, а при малых – принять. Величины  $\alpha$  и  $y = k - 3$  позволяют с помощью таблиц критических точек распределения  $\chi^2$  определить значение  $\chi^2_\alpha$ . При этом, если  $\chi^2 \geq \chi^2_\alpha$ , то гипотезу  $H_0$  следует отвергнуть на уровне значимости  $\alpha$ , в противном случае, для этого нет оснований.

## Контрольные вопросы и задания

1. Что такое выборка? Какие бывают выборки?
2. Что такое варианта, вариационный ряд, частота, относительная частота?

3. Изобразите образец полигона частот, гистограммы.
4. Напишите формулу для выборочной средней  $\bar{x}_n$ .
5. Найти общую среднюю совокупности, состоящей из трех групп:

Группа	первая	вторая	третья
Значения $x_i$	2	4	5
Частота	15	12	10
Объем	$15+12=27$	$15+10=25$	$15+15=30$

6. Напишите формулу для оценки среднего квадратического отклонения выборки.
7. Что такое доверительный интервал. Напишите определение оценки.
8. Что означает понятие "проверка гипотез"?

## **2. Технологическая система, ее состояние**

### **2.1. Понятие о технологической системе**

#### **2.1.1. Основные понятия и определения**

Деревообрабатывающее оборудование имеет сложную конструкцию и работает в тесной взаимосвязи с обрабатываемым материалом, инструментом, приспособлениями и обслуживается операторами на заданных режимах в конкретной окружающей среде. В работающей машине возникают разнообразные причинно-следственные связи, последствия которых, накапливаясь, вызывают эволюцию ее качественных показателей и перевод машины в иное качественное состояние.

За время эксплуатации качественное состояние машины непрерывно изменяется. Для анализа, контроля и управления работой оборудования вводится понятие технологической системы.

**Технологической системой по ГОСТ 27.004-85 называется совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций.**

Под **средствами технологического оснащения** понимают совокупность орудий производства, необходимых для осуществления технологического процесса.

К **предметам производства** относят материал, заготовки, полуфабрикат и изделие, находящиеся в соответствии с выполняемым технологическим процессом в стадии хранения, транспортирования, формообразования, обработки, сборки, ремонта, контроля и испытаний.

К **регламентированным условиям производства** относят регулярность поступления предметов производства, параметры электроснабжения и окружающей среды, количество исполнителей, и др.

Структура технологической системы деревообрабатывающего цеха показана на рис. 5.



Рис. 5. Структура технологической системы обработки древесины на станках

## 2.1.2. Свойства системы

Система обладает следующими свойствами: [4]

- целостностью и декомпозицией (четким определением целостности системы и разделением ее на отдельные части), при этом свойства системы не сводятся к сумме свойств ее частей. Такое свойство системы позволяет выполнять ее анализ путем расчленения системы на отдельные элементы и синтез путем объединения отдельных элементов в единое целое. Элемент технологической системы – это часть системы, условно принимаемая неделимой на данной стадии ее анализа (например, машина, приспособление, инструмент);

- структурностью, обеспечивающей устойчивые взаимоотношения элементов;
- взаимозависимостью технологической системы и окружающей среды, так как система формирует и проявляет свои

свойства в процессе взаимодействия с окружающей средой, являясь активным компонентом взаимодействия;

- наличием структурной и функциональной организаций. Организация возникает одновременно со структурой. Организация это алгоритм совместного функционирования элементов системы в пространстве и времени;
- иерархичностью, когда каждый элемент системы можно рассматривать как подсистему, систему или надсистему.

### **2.1.3. Подсистема технологической системы**

**Подсистемой технологической системы называют технологическую систему, выделяемую по функциональному или структурному признаку из технологической системы более высокого уровня.**

Подсистема, как и сама технологическая система, представляет собой совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения и человека-оператора, и обладает основными свойствами данной системы. Поэтому, например, систему, обеспечивающую выполнение нескольких технологических процессов, удобно условно делить на подсистемы, выполняющие отдельные технологические процессы. В свою очередь, последние можно условно делить на подсистемы, выполняющие отдельные операции. Глубина структурного членения зависит от цели исследования.

Каждая технологическая система состоит из элементов. Элемент - это часть технологической системы, условно принимаемая неделимой на данной стадии ее анализа.

**Производственный процесс предприятия.** Это сложная технологическая система высшего уровня. При ее функционировании ресурсы природы превращаются в промышленную продукцию.

Производственный процесс предприятия, как технологическая система, включает много технологических подсистем, которые обеспечивают функционирование различных подразделе-

ний предприятия. К ним относятся участки сушки древесины, механической обработки, склеивания, отделки, сборки, транспортирования продукции, хранения на складах, контроля качества, обеспечения тепловой и электрической энергией, инструментом, управления производством, проектированием изделий и др. Технологический процесс каждого подразделения можно рассматривать как отдельную технологическую систему.

**Технологический процесс подразделения** как технологическая система представляет собой часть производственного процесса предприятия и содержит несколько технологических процессов получения одного и того же изделия, например несколько потоков, участков.

**Технологический процесс** как технологическая система представляет собой часть производственного процесса потока, участка, содержащая целенаправленные действия по изменению и определению состояния предмета труда (заготовки, изделия).

Технологический процесс как система состоит из множества подсистем – технологических операций.

**Технологическая операция** представляет собой законченную часть технологического процесса, выполняемую на одном рабочем месте. На каждом рабочем месте выполняется только часть технологического процесса изготовления изделия. Движение обрабатываемых деталей по рабочим местам образует производственный поток.

Отдельная технологическая операция как система состоит из нескольких подсистем – рабочих мест, технологических переходов, проходов, установок, позиций.

Рабочее место – это часть производственной площади, предназначеннной для выполнения данной операции, с находящимися на ней оборудованием, материалами и инструментами.

Технологический переход – это законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установках. Например, если нужно выполнить несколько отверстий в детали, расположенных в ряд, то ее закре-

пляют на столе сверлильного станка, а затем, перемещая стол в заданные положения, сверлят отверстия.

Если в щитовой детали необходимо выполнить отверстия, расположенные в несколько рядов, то на станке закрепляют деталь и выполняют проходы столько раз, сколько рядов отверстий. Сверление каждого отверстия выполняется в заданной позиции.

#### **2.1.4. Классификация систем**

Различают следующие классы [4]систем :

1. Искусственные и естественные системы. Искусственные системы созданы человеком, а естественные - природой, например окружающая среда, в которой действуют искусственные системы.

2. Открытые и закрытые системы. Открытые системы активно взаимодействуют с окружающей средой (биологические системы, экономические, социальные и др.). Закрытые системы можно рассматривать изолированно от окружающей среды или со строгим ограничением.

3. Статические и динамические. Свойства статических систем не изменяются во времени, а у динамических систем под действием внутренних и внешних факторов свойства изменяются во времени, изменяется их положение, состояние. Динамические системы постоянно находятся в движении (изменении).

4. Управляемые, кибернетические системы. Такие системы могут переходить из одного состояния в другое под действием управляющих воздействий, которые принудительно изменяются оператором в нужном направлении.

5. Детерминированные и вероятностные системы. Поведение детерминированной системы можно предсказать, если известно в каком состоянии система находилась в предыдущий момент времени. Состояние вероятностной системы характеризуется неопределенностью из-за случайного характера начальных условий или факторов, определяющих их поведение.

6. Реальные и абстрактные системы. Реальные системы обладают такими свойствами, как масса, упругость, инерционность и др. Абстрактные системы такими свойствами не обладают.

ют. Они живут в уме человека и выражаются символами. Это, например, математические системы.

### **2.1.5. Система "окружающая среда"**

Под окружающей средой понимают набор некоторых внешних по отношению к объекту факторов или предметов, влияющих на состояние и действие объекта и, в свою очередь, изменяющихся в результате действия объекта.

**Технические системы рождаются, живут и умирают в окружающей их среде.**

Считают, что окружающая среда включает промышленную и функциональную среды и называется промышленно-функциональной средой (ПФС). Для различных видов технических систем ПФС рассматривается как подсистема.

В машиностроении рассматривают девять типов подсистем ПФС. Характеристика их приведена ниже.

**Научно-техническая подсистема ПФС** представляет собой научно-технический потенциал отрасли машиностроения, охватывает ее научный и инженерно-конструкторский потенциал. Научно-технический потенциал характеризуется сетью академических и отраслевых НИИ. Инженерно-конструкторский потенциал включает сеть опытно-конструкторских бюро и проектных организаций с экспериментальными, производственными и испытательными базами, а также кадрами инженерно-технических работников. На базе инженерно-конструкторского потенциала выполняются научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

**Производственно-технологическая подсистема ПФС** представляет собою производственно-технологический потенциал отрасли. Она включает совокупность служб заводов, занятых опытным и серийным производством образцов технических систем.

**Промышленно-экономическая подсистема ПФС** представляет собой сеть заводов-изготовителей комплектующих узлов и деталей.

**Конкурирующая подсистема ПФС** состоит из различных альтернативных образцов объектов техники, например, импортных, которые могут заменить проектируемые.

**Существующая подсистема ПФС** охватывает ранее созданные образцы аналогичного назначения, выпуск которых продолжается.

**Естественная подсистема ПФС** характеризуется совокупностью факторов атмосферы, гидросфера, космоса и т.д.

**Обслуживающая подсистема ПФС** включает весь обслуживающий персонал, учебные заведения и центры, ремонтные заводы, базы технического обслуживания, которые необходимы для обеспечения функционирования образцов технических систем.

**Целевая подсистема ПФС** представляет собой совокупность потребителей на данной территории.

**Противодействующая подсистема ПФС** направлена на ограничение функциональных возможностей проектируемых систем. Роль противодействия выполняют различные ограничения: нормативные, правовые, политические и т.д.

## Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение технологической системы.
2. Начертите схему технологической системы деревообрабатывающего цеха.
3. Что такое "подсистема" технологической системы?
4. Поясните понятие промышленно-функциональной среды (ПФС).

## 2.2. Деревянные детали

### 2.2.1. Форма и размеры деталей

Детали, обрабатываемые на деревообрабатывающих станках, обычно имеют форму плоских параллелепипедов, плоских

тел с криволинейными кромками, форму тел вращения и тел, ограниченных кривыми поверхностями. Последние две формы деталей, обрабатываемых на токарных и фрезерно-копировальных станках, встречаются сравнительно редко.

Наибольшее распространение на практике получили детали в форме плоских параллелепипедов (доски, бруски, брусья, детали из плит, фанеры и др.). Торцы деталей могут быть плоскими или закругленными, с шипами или проушинами. На поверхности деталей могут быть выполнены отверстия, пазы, гнезда, выбраны четверти. На боковой поверхности может быть выполнен шпунт или гребень. Конструкции деталей отличаются широким разнообразием.

Детали изготавливаются по чертежам. На них указываются форма поверхностей детали, размеры, шероховатость и требования к точности изготовления. Все размеры детали условно делят на две группы: функциональные и свободные.

К **функциональным** относят размеры, определяющие качественные показатели изделия, размеры сборочных размерных цепей и сопряженные размеры, например, посадочных мест шипов. Берут их из чертежа сборочной единицы и из схем размерных цепей.

**Свободными** называют размеры несопряженных поверхностей. Назначают их с учетом технологии изготовления и удобства контроля.

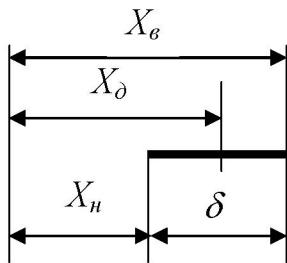
**Размеры, проставляемые на чертеже, называются номинальными размерами.**

В размерах деталей, получаемых из влажной древесины учитывается поправка на усушку. Детали столярных изделий, мебели, спортивного инвентаря и других изделий делают только из сухой древесины.

## 2.2.2. Предельные отклонения

Обработать деталь абсолютно точно с номинальными размерами практически невозможно. Действительные размеры обработанной детали всегда отличаются от номинальных на величину отклонения. Поэтому каждый номинальный размер ограничива-

ют двумя предельными размерами: наибольшим  $X_b$  и наименьшим  $X_n$  (рис. 6). Любой действительный размер  $X_d$  детали находится в промежутке между  $X_b$  и  $X_n$ .



Иначе говоря, любой действительный размер должен находиться в пределах поля допуска  $\delta$ , иначе деталь считается бракованной. Отклонения могут быть действительными и предельными.

Рис. 6. Образование поля допуска  $\delta$  размера

**Действительным отклонением** называется алгебраическая разность между действительным размером полученной детали и номинальным размером.

**Предельным отклонением** называется алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами. Одно предельное отклонение из двух называется верхним, а другое - нижним.

Для удобства записи на чертеже вместо предельных размеров рядом с номинальным указывают два предельных отклонения, например,  $75^{+0,021}_{+0,002}$  мм,  $175^{+0,40}$  мм,  $75^{-0,040}$  мм,  $175 \pm 0,02$  мм. Предельные отклонения, равные нулю, не указываются [6].

Для размера  $75^{+0,021}_{+0,002}$  мм предельные размеры равны:  $X_b = 75,021$  мм,  $X_n = 75,002$  мм; для размера  $175^{+0,40}$  мм -  $X_b = 175,4$  мм,  $X_n = 175,0$  мм.

### 2.2.3. Поле допуска размера

Допуск характеризует точность изготовления детали. Чем меньше допуск, тем труднее обрабатывать деталь. Зону (поле), ограниченную верхним и нижним предельными отклонениями, называют **полем допуска** (рис. 6). Оно определяется величиной допуска и его положением относительно номинального размера. При графическом изображении поле допуска заключено между

линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям, и расположено на схеме относительно нулевой линии.

На рис. 7 изображены варианты расположения поля допуска  $T_d$  относительно нулевой линии. **Нулевая линия** - это линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении допусков (ГОСТ 6449.1-82). При горизонтальном расположении нулевой линии положительные отклонения откладывают вверх от нее, а отрицательные - вниз. При этом верхнее предельное отклонение отверстия (вала) на схемах обозначают  $ES$  ( $es$ ), а нижнее предельное отклонение отверстия (вала) -  $EI$  ( $ei$ ).

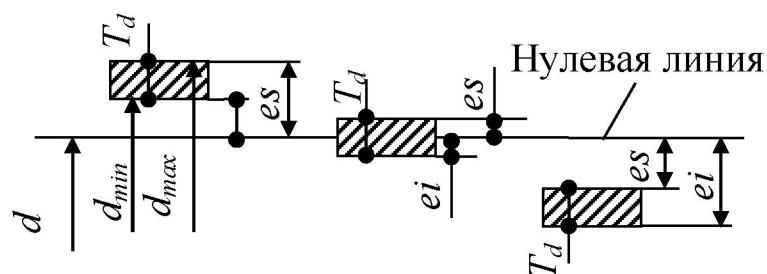


Рис. 7. Варианты расположения поля допуска вала относительно нулевой линии

Термин “отверстие” применяют для обозначения внутренних (охватывающих) цилиндрических и плоских параллельных поверхностей, а термин “вал” - для обозначения наружных (охватываемых) цилиндрических и плоских параллельных поверхностей.

#### 2.2.4. Посадки

**Характер соединения деталей, определяемый величиной получающихся в нем зазоров или натягов, называется посадкой.**

Посадка образуется только при сборке деталей. При этом в соединении поверхность одной детали рассматривается как вал, а поверхность другой детали - как отверстие. Положение поля допуска отверстия и вала определяет при сборке тип посадки. Различают посадки с зазором, с натягом и переходные.

Зазор  $S$  - находится как положительная (со знаком +) разность размеров отверстия и вала до сборки. **Посадка с зазором** - посадка, при которой обеспечивается зазор в соединении и поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала (рис. 8,  $a$ ).

Натяг  $N$  - находится как отрицательная (со знаком -) разность размеров отверстия и вала до сборки. **Посадка с натягом** - посадка, при которой обеспечивается натяг в соединении и поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала (рис. 8,  $b$ ).

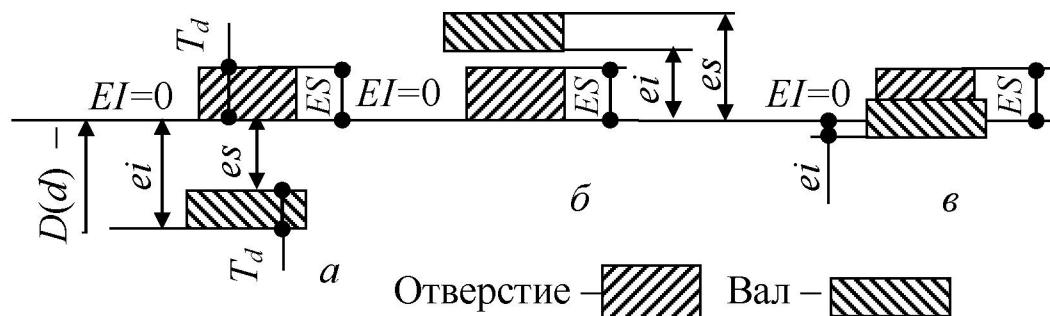


Рис. 8. Расположение полей допусков при посадках:  
 $a$  – с зазором;  $b$  – с натягом;  $c$  – переходной

**Переходная посадка** - посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга. В этом случае поля допусков отверстия и вала перекрываются частично или полностью (рис. 8,  $c$ ).

**Допуск посадки** - разность между наибольшим и наименьшим зазорами (натягами) или сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение.

Вал и отверстие, образующие посадку, имеют одинаковый номинальный размер и отличаются только предельными отклонениями. На чертежах посадку ставят после номинального размера, обозначая ее дробью, в числителе которой записывают предельные отклонения для отверстия, а в знаменателе - для вала.

## 2.2. 5. Квалитеты

Допуски и посадки нормированы государственными стандартами, входящими в две системы: ЕСДП - "Единая система

допусков и посадок" и ОНВ - "Основные нормы взаимозаменяемости".

Классы (уровни, степени) точности допусков в ЕСДП называются квалитетами.

**Квалитет (степень точности) - ступень градации значений допусков системы.**

Допуски в каждом квалитете возрастают с увеличением номинального размера, но они соответствуют одному уровню точности, определяемому квалитетом, его порядковым номером. С уменьшением номера квалитета допуски на размер уменьшаются, точность увеличивается.

В ЕСДП установлено 19 квалитетов, обозначаемых порядковым номером: 01; 0; 1; 2; 3; ...16; 17. Точность размера убывает от квалитета 01 к квалитету 17.

Для нужд деревообрабатывающей промышленности введен 18-й квалитет. ГОСТ 6449.1-82 устанавливает для изделий из древесины девять квалитетов с 10 по 18.

## 2.2.6. Допуск квалитета

Допуск квалитета условно обозначают буквами  $IT$  с номером квалитета, например,  $IT10$  - допуск 10-го квалитета.

Допуск квалитета рассчитывается по формуле

$$IT = ai, \quad (15)$$

где  $a$  - число единиц допуска, установленное для каждого квалитета;

$i$  - значение единицы допуска, зависимое от номинального размера, мкм.

Числа единиц допуска для квалитетов приведены ниже:

Номер квалитета	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Числа единиц допуска $a$	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2560

Для номинальных размеров  $D = (1 - 500)$  мм значение единицы допуска

$$i = 0,5\sqrt[3]{D_c} + 0,001D_c, \quad (16)$$

где  $D_c$  - среднее геометрическое граничных значений интервала номинальных размеров

$$D_c = \sqrt{D_{\min} D_{\max}}, \quad (17)$$

где  $D_{\min}, D_{\max}$  - соответственно наименьшее и наибольшее граничное значение интервала номинальных размеров (прил. А), мм.

**Пример.** Определить допуск вала (отверстия) 18-го квалитета с номинальным размером 100 мм.

**Решение.** По ГОСТ 6449.1-82 уточняем, что номинальный размер 100 расположен в интервале 80-120 мм. Находим среднее геометрическое граничных значений интервала номинальных размеров  $D_c = \sqrt{80 \cdot 120} = 97,98$  мм.

Единица допуска

$$i = 0,45^3 \sqrt{D_c} + 0,001 D_c = 0,45^3 \sqrt{97,98} + 0,001 \cdot 97,98 = 2,1725$$

мкм.

Допуск вала  $IT = ai = 2560 \cdot 2,1725 / 1000 = 5,4$  мм.

## 2.2.7. Обозначение допусков и посадок

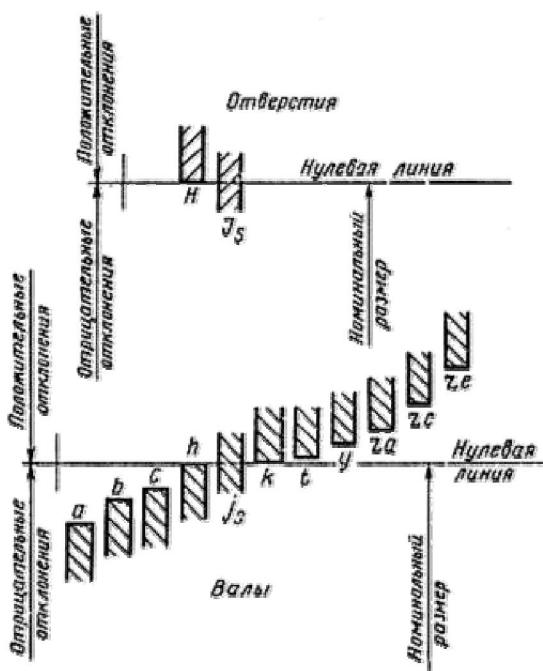


Рис. 9. Относительные положения полей допусков по ГОСТ 6449.1-82

В ЕСДП используют понятие основного отклонения.

**Основное отклонение** - это наименьшее расстояние от нулевой линии до границы поля допуска.

Положения полей допусков относительно нулевой линии определяются основными отклонениями, зависящими от интервалов номинальных размеров.

ГОСТ 6449.1-82 устанавливает два положения полей допусков отверстий и

одиннадцать положений полей допусков валов с буквенными обозначениями:

отверстий -  $H$ ,  $Is$ ;

валов -  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $h$ ,  $js$ ,  $k$ ,  $t$ ,  $y$ ,  $za$ ,  $zc$ ,  $ze$ .

Положения полей допусков относительно нулевой линии определяются основными отклонениями, зависящими от интервалов номинальных размеров (рис. 9).

Основные отклонения вала от  $a$  до  $h$  (основное отклонение  $h$  равно нулю) предназначены для образования полей допусков в посадках с зазором;  $js$  - в переходных посадках и от  $k$  до  $zc$  - в посадках с натягом.

Поля допусков в ЕСДП образуются сочетанием основного отклонения и квалитета. Например,  $32k13$  означает, что вал диаметром 32 мм должен быть выполнен по 13-му квалитету с основным отклонением  $k$ .

Понятие посадки справедливо только при сборке двух деталей. На сборку поступают детали с различными основными отклонениями. Наиболее часто посадку указывают в системе отверстия, когда отверстие выполняется с одним основным отклонением  $H$ , а зазоры или натяги обеспечиваются валами с различными размерами, например, диаметр  $45H10/b10$ . Здесь в числителе указано поле допуска отверстия детали, а в знаменателе - поле допуска вала.

**Посадки с зазором.** Посадки с зазором рекомендуется применять для соединений, часто подвергаемых разборке и регулированию, допускающих проворачивание или продольное перемещение одной детали относительно другой.

**Посадки переходные** используют при центрировании детали в неподвижном соединении. Разборку соединения производят редко (при ремонте).

**Посадки с натягом** назначают для неподвижных чаще всего kleевых соединений.

**Основное отверстие - это такое отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю.** Зазоры и натяги при этом обеспечиваются за счет полей допусков вала. Поскольку по-

верхность вала технологически обрабатывать проще, то система отверстия на практике используется чаще.

### **2.2.8. Форма, расположение и шероховатость поверхностей**

Поверхности деревянных деталей, обработанные на станках, всегда имеют погрешности по форме, расположению и шероховатости. Погрешности определяются по сравнению с идеальной деталью, заданной чертежом, и техническими требованиями, установленными нормативно-технической документацией.

Так при обработке плоских поверхностей реальные поверхности могут получиться вогнутыми или выпуклыми. Вместо цилиндрических поверхностей могут получиться конические или бочкообразные поверхности. Если поверхности детали, указанные на чертеже, взаимно параллельны или перпендикулярны, то на реальной детали эти условия выполняются с погрешностью.

Кроме того, на обработанных поверхностях могут появиться кинематическая волнистость, вырывы, концевые сколы, ворсистость и мшистость, а также микронеровности.

Все эти погрешности искажают посадку соединения, снижают точность изделия и надежность его работы, повышают трудоемкость сборки. Для снижения погрешностей деревообрабатывающие станки нормируются по точности. На каждый тип станка действуют нормы точности. Нормирована также шероховатость поверхностей деревянных деталей.

**По ГОСТ 7016-82 шероховатость деревянной поверхности характеризуется параметрами, их числовыми значениями и наличием или отсутствием ворсистости и мшистости. Анатомические неровности древесины при этом не учитываются.**

ГОСТ устанавливает пять параметров:  $R_{m\ max}$ ,  $R_m$ ,  $R_z$ ,  $R_a$ ,  $S_z$ .

Числовые значения параметров в мкм принимаются из следующих предпочтительных рядов чисел:

$R_{m\ max}$ ,  $R_m$  и  $R_z$  - 1600, 800, 400, 200, 100, 50, 25, 12,5, 6,3, 3,2;

$R_a$  - 100; 50; 25; 12,5; 6,3; 3,2; 1,6; 0,8.

Методы определения параметров шероховатости поверхности регламентированы ГОСТ 15612-85.

## Контрольные вопросы и задания

1. На чертеже детали указан размер  $75^{+0,021}_{+0,002}$  мм. Как называются числа 75; +0,021; +0,002; 75,021; 75,002; 0,021-0,002 = 0,019?
2. Дайте определение посадки. Какие посадки называются с зазором, натягом и переходные?
3. Дайте определение квалитета. Какие квалитеты установлены в деревообрабатывающей промышленности?
4. Как определяется допуск квалитета?
5. На сборочном чертеже указан размер 45H7/e7. Как называются и что означают числа и выражения: 45; 45H7; 45e7; 7; H7/e7?

## 2.3. Точность машинной обработки деталей

### 2.3.1. Погрешности, влияющие на точность обработки

Точность машинной обработки характеризуется величиной фактической погрешности размеров и формы обработанной детали и зависит от многих факторов, участвующих в процессе ее изготовления. При системном рассмотрении вопроса можно отметить, что на погрешность обработки детали оказывают влияние все элементы технологической системы деревообрабатывающего цеха. К ним относятся погрешности, обусловленные:

- погрешностями станка, т. е. геометрическими неточностями, неточностью кинематических цепей, деформациями деталей станка, колебаниями и вибрациями, износом направляющих, низкой жесткостью узлов и упоров;
- погрешностями инструмента - износом и затуплением лезвий, неправильностью формы, неточностью крепления;
- погрешностями приспособлений - неправильностью их формы, недостаточностью жесткости, нестабильностью установки детали;
- ошибками в настройке станка;

- температурными деформациями узлов станка;
- неоднородностью свойств обрабатываемого материала;
- погрешностями измерений;
- человеческим фактором, квалификацией станочника.

Влияние этих погрешностей проявляется по-разному в зависимости от того, рассматривается ли точность обработки одной единственной детали или партии деталей.

При обработке одной детали большинство погрешностей можно рассматривать несущественными. Время изготовления детали столь мало, что большинство погрешностей процесса обработки на станке не успевают проявиться. В этом случае погрешности размеров и формы деталей зависят главным образом от начальной точности станка, точности настройки и квалификации станочника. Погрешности размеров, относящиеся к конкретной детали, называют **отклонениями размеров**.

При обработке на станке большой партии деталей все погрешности процесса становятся существенными, так как во времени все элементы технологической системы изменяются. Узлы станка и режущий инструмент нагреваются, режущие кромки лезвий затупляются и изнашиваются, силы резания увеличиваются, что приводит к росту упругих деформаций [7].

В каждой обрабатываемой заготовке изменяются физико-механические свойства, припуск на обработку, точность базовых поверхностей, жесткость.

Станочник со временем утомляется и выполняет технологические операции менее точно.

Все это приводит к тому, что полученные размеры в партии деталей приобретают случайный характер и **рассеваются** относительно их центра группирования.

### **2.3.2. Погрешности обработки деталей на станках**

Погрешности обработки подразделяются на систематические  $\Delta_c$  и случайные  $\Delta_{cl}$ . Общая погрешность представляет собой алгебраическую сумму всех переменных погрешностей:

$$\Delta o = \Delta c + \Delta_{cl}.$$

**Систематической погрешностью** называется такая погрешность, которая остается постоянной в пределах обработки данной партии деталей или изменяется закономерно. Например, погрешность, вызванная износом стола станка, износом режущего инструмента, направляющих каретки станка, непараллельностью направляющих, уменьшением величины развода пил и т. п. Эти факторы действуют постоянно при обработке деталей. При этом одни из них вносят одинаковую погрешность на все детали данной партии (например, непараллельность направляющих), другие – изменяют величину погрешности закономерно (например, износ и затупление режущего инструмента). Поэтому систематические погрешности разделяют на постоянные  $\Delta n$  и закономерно-переменные  $\Delta z_n$ . Полная систематическая погрешность равна:

$$\Delta c = \Delta n + \Delta z_n.$$

Главным источником постоянных погрешностей являются геометрические погрешности станка, режущего инструмента и приспособлений, а также погрешности размерной настройки станка.

Закономерно-переменные погрешности складываются из погрешностей от затупления инструмента, уменьшения величины уширения зубьев на сторону и температурных деформаций узлов станка.

Геометрические погрешности станка выражаются в неправильности формы основных элементов в ненагруженном состоянии, участвующих в формообразовании обрабатываемых деталей. Геометрическая точность характеризуется точностью выполнения деталей и узлов станка при его изготовлении. Чем выше геометрическая точность элементов станка, тем с более высокой точностью можно обработать на станке детали.

**Случайной** называют погрешность, значение которой может изменяться в пределах как партии деталей, так и в каждой детали в отдельности. Источниками случайных погрешностей являются неравномерность припуска на обработку, нестабильность режима резания, ошибка измерений и деформации деталей станка, инструмента и др.

Наблюдения за работой станков показали, что постоянные погрешности смещают центр группирования размеров партии деталей только в начальный момент времени. Закономерно-переменные погрешности приводят к смещению центра группирования размеров во времени. Случайные погрешности увеличивают поле рассеяния размеров.

### **2.3.3. Средства измерения размеров**

Детали, обработанные на станке, подвергаются контролю с помощью средств измерения. Измерить размер детали – значит сравнить ее действительный размер с величиной, принятой за единицу измерения, т.е. установить, сколько единиц измерения содержится в контролируемом размере [6].

При измерении неизбежно допускаются погрешности. Поскольку истинное значение размера обработанной детали неизвестно, то неизвестна и погрешность измерения. В этом случае за истинное значение измеряемой величины принимают действительное значение размера, найденное опытным путем при измерении.

Средства измерения выбирают в зависимости от допуска на контролируемый размер и допускаемой погрешности измерений, установленной ГОСТ 8.051 – 81. Допускаемая погрешность измерения принимается равной 20% от допуска на измеряемый размер.

**Пример.** Выбрать средства измерения размеров 200, выполненного по 12-му квалитету и по 17-му квалитету.

*Решение.* 1. Поле допуска первого размера по ГОСТ 6449.1-82 равно 460 мкм, а второго – 4600 мкм.

2. Допустимая погрешность измерения (20% от допуска) первого размера 92 мкм, второго – 920 мкм (по таблице ГОСТ 8.051 – 81 соответственно 100 и 1000 мкм).

3. Средства измерения. Первый размер можно измерить штангенциркулем ШЦ-III (ГОСТ 166-80), который в диапазоне измерения 0-315 мм при цене деления нониуса (0,1) позволяет измерять с погрешностью 0-100 мкм. Для измерения второго размера можно использовать штангенциркуль ШЦ-III, который в

диапазоне измерения 0-500 мм при цене деления нониуса (0,1) позволяет измерять с погрешностью 200-250 мкм.

### 2.3.4. Жесткость деревообрабатывающих станков

Жесткость упругой системы "станок-приспособление-инструмент-деталь" (СПИД) характеризуется отношением силы, действующей перпендикулярно к обрабатываемой поверхности, к суммарной деформации системы, измеряемой в том же направлении:

$$j = \frac{F}{y}, \quad (18)$$

где  $j$  – жесткость упругой системы, Н/мм;

$F$  – сила, действующая на систему, Н;

$y$  – суммарная деформация, мм; для системы СПИД суммарная деформация равна  $y = y_c + y_n + y_u + y_d$ .

При известной жесткости системы СПИД и деформирующей силе можно найти величину деформации системы:

$$y = \frac{F}{j}.$$

Деформирующая сила для шпинделей и ножевых валов например, создается касательной  $F_x$  и радиальной  $F_z$  силами резания и находится по формуле

$$F = S_2 = F_z \cos \mu - F_x \sin \mu.$$

### 2.3.5. Испытания станков на жесткость

Испытания станков на жесткость выполняются статическим или динамическим способами. При статическом испытании нагружение узлов станка производится статической нагрузкой, а

при динамическом – измеряемыми силами резания.

Жесткость узла станка характеризуется величиной силы, вызывающей деформацию узла на 1 мм. Для измерения жесткости используют распорный динамометр и индикатор часового типа.

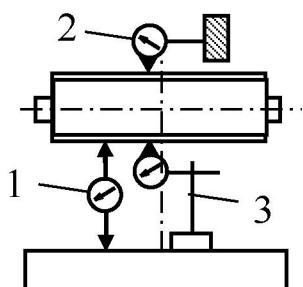


Рис. 10. Схема измерения статической жесткости

На рис. 10 приведена схема измерения жесткости системы "ножевой вал - стол" рейсмусового станка.

При статических испытаниях распорный динамометр 1 устанавливают на стол станка и упираются им в ножевой вал. При этом индикатором 2 измеряют деформацию ножевого вала, а индикатором 3 – деформацию стола.

Диаграмма испытаний жесткости (рис. 11) характеризуется петлей гистерезиса, когда ветви нагрузки динамометра (сплошная линия) и разгрузки (пунктирная линия) не совпадают.

Испытанию на жесткость подвергают главным образом рабочие шпинделы и ножевые валы, опорные столы и подвижные каретки.

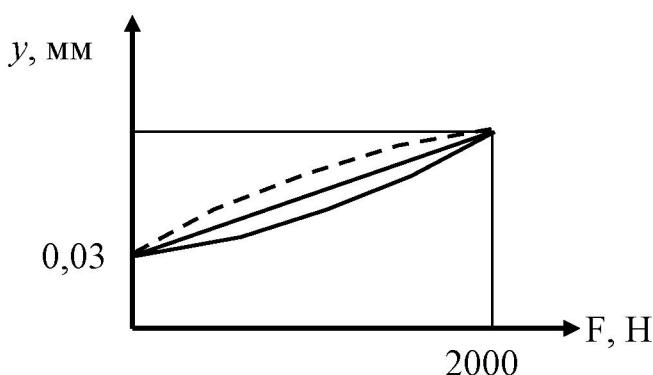


Рис. 11. Диаграмма жесткости системы "вал-стол"

На основании многочисленных научных исследований разработаны нормы жесткости узлов деревообрабатывающих станков (табл. 3). Эти нормы ориентированы на средние характеристики станков по скопости главного движения  $V = 20 \dots 30 \text{ м/с}$  и мощности шпинделей  $1 \dots 10 \text{ кВт}$ .

Жесткость подвижных кареток в поперечном направлении зависит от конструкции направляющих и точности их изготовления. При ручной подаче и допустимой величине деформации поперечная жесткость кареток равна  $j = 2000 \text{ Н/мм}$  для станков средней точности и  $j = 4000 \text{ Н/мм}$  для станков высокой точности.

Нормы жесткости рабочей системы

$$j_{cistm} = 1 / \left( \frac{1}{j_{spn}} + \frac{1}{j_{op}} \right), \quad (19)$$

где  $j_{cistm}$  – жесткость системы, Н/мм на 1 кВт мощности;

$j_{spn}$  – жесткость шпинделя, Н/мм;

$j_{op}$  – жесткость опор (стола, каретки), Н/мм.

Обычно  $j_{cисм.} = 1150$  Н/мм на 1 кВт мощности для системы "стол-вал" рейсмусовых и четырехсторонних продольно-фрезерных станков,  $j_{cисм.} = 1500$  Н/мм на 1 кВт мощности для системы "нижний-верхний шпинтели" и "проушенный диск-каретка" шипорезного станка.

Таблица 3  
Рекомендуемые нормы жесткости узлов  
деревообрабатывающих станков [7]

Наименование валов, шпинделей и суппортов	Приведенная жесткость на 1 кВт мощности, Н/мм
Ножевые валы рейсмусовых станков.....	25000
Суппорт верхнего ножевого вала 4-стороннего продольно-фрезерного станка (ножи установлены в промежутке между опорами).....	20000
Шпиндель фрезерного станка.....	250/200
Вертикальные и консольные горизонтальные шпинNELи 4-сторонних продольно-фрезерных станков .....	250/200
ШпинNELи шипорезных станков для изготовления рамных шипов .....	250
Шпиндельные суппорты горизонтальных сверлильных станков .....	500/400
Столы рейсмусовых станков при $V= 25$ м/с	25000
Столы 4-сторонних продольно-фрезерных станков .....	30000
Примечание. В числителе – для скорости главного движения $V= 20$ м/с, в знаменателе – для $V= 30$ м/с.	

### 2.3.6. Классы точности станков

Детали, обрабатываемые на станках, с учетом их назначения должны иметь различную степень точности. При этом высокоточные детали получить труднее, обрабатываются они на дорогих высокоточных станках и имеют большую стоимость по сравнению с деталями низкоточными.

При определении точности станка используют комплексный критерий, учитывающий геометрическую точность и жест-

кость станка. Для практики важно, чтобы величина общей суммарной погрешности отклонения не превышала бы величины допуска по каждому конкретному размеру детали.

Поскольку точность размеров деталей характеризуется допусками квалитетов, то и точность станков должна определяться квалитетами. Применяемые в деревообработке девять квалитетов предложено поделить на 4 группы. Каждой группе точности соответствует класс точности станков: особой точности (*O*), повышенной точности (*P*) средней (*C*) и низкой точности (*H*). Зависимость классов точности станков от квалитетов приведена ниже:

Квалитет по ГОСТ 6449.1-82	10, 11	12, 13, 14	15, 16	17, 18
Класс точности станка	<i>O</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>H</i>

Основные погрешности обработки создаются геометрическими неточностями станка. Допускаемые геометрические погрешности по классам точности приведены в табл. 4 [7].

Таблица 4  
Нормы допускаемых геометрических погрешностей  
элементов деревообрабатывающих станков

Характер погрешности и единица измерения	Предельные геометрические погрешности для классов точности			
	<i>O</i>	<i>P</i>	<i>C</i>	<i>H</i>
1. Неплоскость столов, плит, ли- неек и непрямолинейность перемеще- ний, мм/1000 мм	0,05	0,1	0,2	0,5
2. Непараллельность элементов станка и их перемещений, мм/1000 мм	0,05	0,1	0,3	1,0
3. Неперпендикулярность элементов станка и их перемещений, мм/1000 мм	0,07	0,2	0,6	2,0
4. Изменение горизонтальности сто- лов, кареток и шпинделей при их пе- ремещении, мм/1000 мм	0,03	0,07	0,15	0,3
5. Радиальное биение шпинделей, мм	0,01	0,02	0,04	0,1
6. Радиальное биение оправок, встав- ленных в центрирующее отверстие				

шпинделей и патронов, мм:				
у основания оправки	0,01	0,02	0,04	0,1
на расстоянии 200 мм от основания	0,02	0,03	0,06	0,15
7. Осевое биение шпинделей, мм	0,02	0,03	0,05	0,15
8. Соосность валов, мм	-	0,03	0,06	0,15
9. Поперечное смещение суппортов и кареток в направляющих (зазор), мм	0,02	0,05	0,15	0,5

Следует заметить, что в действующих стандартах на деревообрабатывающие станки точность характеризуется не классами точности, а нормами точности. Нормы точности представляют собой допуски на плоскостность рабочей плоскости стола и прямолинейность направляющей линейки, взаимную перпендикулярность и параллельность рабочих поверхностей, радиальное и торцовое биение рабочих валов, допуск на основной размер обрабатываемого образца и др. Например, равномерность толщины заготовки, обрабатываемой на рейсмусовом станке, характеризуется допуском 0,15 мм (ГОСТ 7228-75), а допуск на равномерность ширины и толщины заготовки, обработанной на четырехстороннем продольно-фрезерном станке, равен 0,2 мм (ГОСТ 7315-83).

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Перечислите основные факторы, влияющие на погрешности размеров и формы деталей, обработанных на станке.
2. Поясните, в каких случаях используют термины "отклонение размеров" и "рассеяние размеров"?
3. Какие погрешности называют систематическими и случайными?
4. Как отражаются на величине размера детали погрешности постоянные, закономерно переменные и случайные?
5. Дайте определение жесткости упругой системы.
6. Изобразите схему испытания станка на жесткость и примерную диаграмму жесткости.
7. По какому принципу делят деревообрабатывающие станки на классы точности?

## **2.4. Состояние технологической системы**

### **2.4.1. Работоспособность**

Технологическая система может находиться в работоспособном или в неработоспособном состоянии.

**Работоспособным состоянием технологической системы называют такое состояние, при котором значения параметров и показателей качества изготавляемой продукции соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической документации.**

При этом к значениям параметров относят производительность, расход сырья, материалов, энергии, инструментов, стоимость технического обслуживания и ремонта и т.д.

Неработоспособным состоянием технологической системы называют такое состояние, при котором значение хотя бы одного параметра или показателя качества изготавляемой продукции не соответствует требованиям, установленным в нормативно-технической документации. Неработоспособное состояние технологической системы различают по параметрам производительности, расхода сырья, материалов, энергии, инструментов, стоимости технического обслуживания и ремонта.

### **2.4.2. Отказ технологической системы**

**Неработоспособное состояние технологической системы называют отказом.** Отказ – это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Различают несколько видов отказов.

**Функциональный отказ** технологической системы. Это отказ технологической системы, в результате которого наступает прекращение ее функционирования, не предусмотренное регламентированными условиями производства или в конструкторской документации. Технологическая система не может выполнять свою функцию. Нарушение ее работоспособности наступает, например, из-за прекращения электропитания станков.

### **Параметрический отказ технологической системы.**

В этом случае функционирование системы сохраняется. Однако значения одного или нескольких параметров технологического процесса выходят за пределы, установленные в нормативно-технической, конструкторской или технологической документации. Например, влажность обрабатываемой древесины превосходит установленные пределы, пресс не может развить необходимое давление.

**Собственный отказ** технологической системы – отказ технологической системы, вызванный нарушением работоспособного состояния ее элементов и функциональных связей между ними. Система становится неработоспособной из-за нарушения связей с другими объектами системы. Происходит поломка станка, заклинивание его элементов, чрезмерное затупление режущего инструмента, в результате чего система не может функционировать.

**Вынужденный отказ** технологической системы – отказ технологической системы, вызванный нарушением регламентированных для этой системы условий производства. Нарушается ритмичность подачи заготовок, отсутствие оператора должной квалификации.

**Отказ технологической системы по параметрам продукции.** Отказ наступает в момент, когда значение хотя бы одного параметра или показателя качества изготавляемой продукции перестают соответствовать требованиям, установленным в нормативно-технической и конструкторской и технологической документации. Отказ характеризуется постепенным изменением значений одного или нескольких заданных параметров объекта. Изменение параметров объекта является результатом того или иного вида изнашивания. Ухудшаются показатели шероховатости обработанных поверхностей, понижается точность размеров и формы деталей. Система становится неработоспособной по требованиям технических нормативов.

**Отказ технологической системы по производительности** – отказ, в результате которого значение хотя бы одного параметра производительности технологической системы не соответ-

ствует значениям, установленным в нормативно-технической документации. К параметрам производительности относятся номинальная и цикловая производительность, штучное время и т.д.

**Отказ технологической системы по затратам** – отказ технологической системы, в результате которого значение хотя бы одного параметра материальных или стоимостных затрат не соответствует значениям, установленным в технической документации.

### **2.4.3. Потеря работоспособности рабочей машины**

В период эксплуатации на рабочую машину (станок, пресс, машину и др.) действуют различные виды энергии: механическая, тепловая, химическая, электромагнитная. Действуя на машину, энергия вызывает в ней обратимые и необратимые процессы, которые снижают ее первоначальные характеристики [8].

Источники энергии бывают внешние и внутренние. К внешним источникам относят окружающую среду и человека, исполняющего функцию оператора или ремонтника. Внутренние источники энергии связаны с работой машины и ее механизмов. При этом учитывают, что при изготовлении деталей, сборке, монтаже накапливается потенциальная энергия в виде упругих деформаций, внутренних напряжений.

При работе машины появляются другие виды энергии. Основной является механическая энергия, которая передается деталям станка в виде статических и динамических нагрузок. В кинематических парах действуют силы от рабочего процесса, а также инерционные силы и силы трения. Это случайные силы, действующие в функции времени. Кроме того, в машине действуют силы от проявления потенциальной энергии, заложенной в деталях при изготовлении, сборке, монтаже.

При колебаниях температуры окружающей среды на машину действует тепловая энергия. Тепловая энергия возникает также при работе машины, особенно при работе двигателей.

В результате действия влаги и агрессивной среды детали машины подвергаются влиянию химической энергии, на деталях появляется коррозия.

Электромагнитная энергия влияет на работу электронной аппаратуры станка.

Таким образом, все виды энергии, действующие на машину, вызывают нежелательные процессы и создают условия для ухудшения технических характеристик машины.

#### 2.4.4. Процессы, вызывающие отказ

Все виды энергии, действующие на машину, вызывают в ней процессы, которые сопровождаются сложными физико-химическими явлениями. Протекающие процессы приводят к деформации и износу деталей, коррозии и поломкам. Все это снижает начальные параметры машины и приводит к отказу. Действие энергии схематично показано на рис. 12.

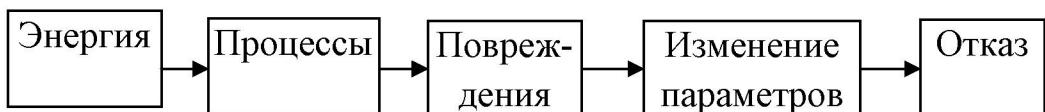


Рис. 12. Преобразование энергии в машине до отказа

Механическая энергия, например, передается на звенья станка и вызывает процесс их износа. Это вызывает искажение первоначальных сопряжений деталей и понижает точность станка. Точность является основным параметром станка. При достижении погрешности обработки деталей на станке заданного уровня наступает отказ.

Сочетание всех видов энергии, действующих на станок, приводит к образованию усталостных трещин и поломке.

Процессы, протекающие в станке, могут быть обратимыми и необратимыми.

Обратимые процессы (упругие деформации, температурное изменение объема) временно изменяют параметры деталей, узлов и всей машины в некоторых пределах.

Необратимые процессы, например, коррозия, усталость металла, коробление приводят к прогрессивному ухудшению технических характеристик машины в течение времени.

### **2.4.5. Скорости протекания процессов**

Процессы, протекающие в машине, могут проходить с различной скоростью. Различают процессы быстропротекающие, средней скорости и медленные.

**Быстропротекающие процессы** проходят с периодичностью в доли секунды. В станках так действуют силы резания. Нагружение выполняется циклами в течение обработки детали резанием. Силы резания вызывают вибрацию станка, изменяют силы трения в подвижных соединениях.

**Процессы средней скорости** проходят в период непрерывной работы машины. Длятся они минутами, часами. Они вызывают монотонный износ элементов станка, монотонно ухудшая начальные параметры машины.

**Медленные процессы** наблюдаются в машине между периодическими осмотрами или ремонтами. Они обнаруживаются через несколько месяцев. Это износ основных механизмов машины, связанный с перераспределением внутренних напряжений в деталях, коррозией, загрязнением поверхностей трения, сезонным изменением температуры. Эти процессы влияют на точность машины, мощность, но происходят они медленно.

### **2.4.6. Старение машины**

Различные вредные процессы приводят к повреждению деталей машины. Повреждения могут быть допустимыми и недопустимыми.

Допустимые повреждения носят монотонный характер и возникают при нормальных условиях эксплуатации. Это коробление, остаточные деформации, износ, усталость.

Недопустимые повреждения носят аварийный характер. Это поломки деталей в результате недостаточной статической и динамической прочности, тепловые трещины при нагреве и др.

Допустимые повреждения не могут быть полностью устранены. Можно лишь замедлить их проявление путем уменьше-

ния скорости изнашивания, но это понижает технические характеристики машины.

Допустимые повреждения вызывают старение машины.  
**Старение – это необратимое ухудшение состояния материала деталей машины.**

#### 2.4.7. Схема потери машиной работоспособности

Рассмотрим случай, когда задано время непрерывной работы станка  $T_o$ , в течение которого не производится его техническое обслуживание. Это время до подналадки станка или длительность смены [8].

Пусть  $X$  – параметр точности изготовления деталей на станке, а  $\delta$  – допуск на размер детали. Допуск – это та часть, на которую размер детали может быть изменен без выхода его за допустимые пределы. Изменение погрешностей в пределах допуска не приводят к нарушению его работоспособности.

Каждый станок имеет начальные погрешности, которые определяют начальную неточность функционирования  $a_o$ .

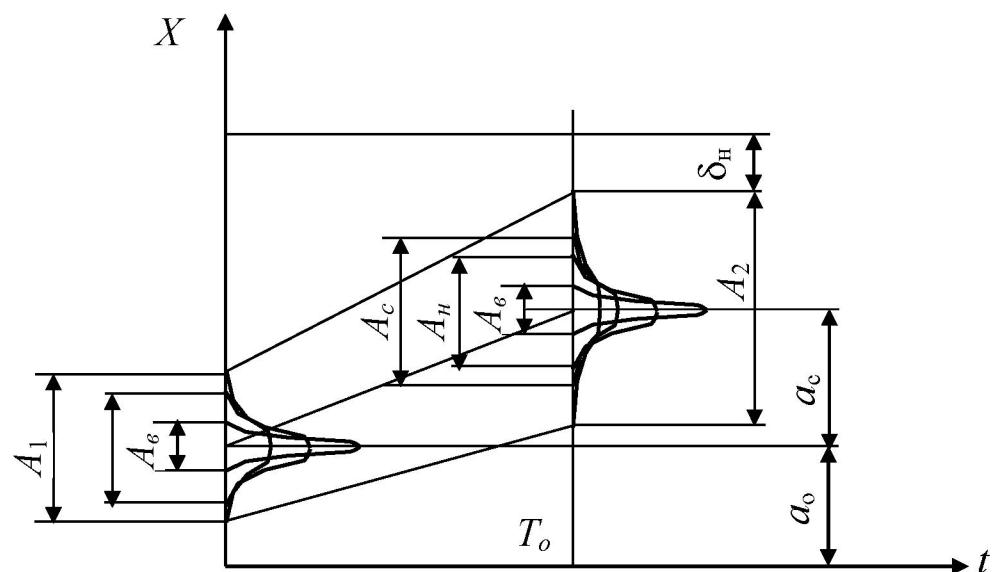


Рис. 13. Схема изменения точности станка

**Влияние скоростей процессов.** Когда станок начинает работать, быстропротекающие процессы вызывают увеличение

погрешностей функционирования (рис. 13). Так как процессы и вызываемые ими погрешности носят случайный характер, то изменение точности станка будем оценивать законом распределения случайной величины и его полем рассеивания  $A_1$ . Границы интервала  $A_1$ , как и других областей рассеивания, определяют принятыми значениями вероятности попадания параметра  $X$  в заданную область.

В начальный момент работы станка влияют на погрешности, по крайней мере, два фактора – начальная погрешность и вибрация. Погрешности изготовления и настройки станка вызывают рассеивание параметра  $X$  относительно центра группирования размера  $a_o$  в пределах поля  $A_h$ . Вибрация и деформации элементов станка вызывают рассеивание параметра  $X$  относительно центра группирования размера  $a_o$  в пределах поля  $A_v$ . Суммарное поле рассеивания  $A_1$  будет равно

$$A_1 = \sqrt{A_h^2 + A_v^2}.$$

Влияние процессов средней скорости (тепловых деформаций деталей станка) проявляется в том, что центр группирования за период работы станка  $T_o$  смещается на величину  $a_c$  (на схеме условно принято линейное перемещение). Термальные деформации вызывают дополнительное рассеивание параметра  $X$  с полем  $A_c$ .

Зона рассеивания  $A_2$  относительно смещенного центра группирования размеров равна

$$A_2 = \sqrt{A_h^2 + A_v^2 + A_c^2}.$$

**Коэффициент надежности станка.** К концу периода  $T_o$  по параметру  $X$  остается неизрасходованный резерв допуска  $\delta_h$ , равный

$$\delta_h = \delta - (a_o + a_c + 0,5 \sqrt{A_h^2 + A_v^2 + A_c^2}).$$

Запас надежности станка  $K_h$  определяют как отношение допуска  $\delta$  к экстремальному значению параметра для данных условий работы  $X_{\text{эк}} = \delta - \delta_h$ :

$$K_h = \frac{\delta}{\delta - \delta_h}. \quad (20)$$

Часто принимают  $\delta-\delta_n = 6\sigma$ , где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение параметра X.

При  $K_n > 1$  надежность станка высокая, так как вероятность выхода параметра X за пределы допуска мала. В данном случае опасность представляют лишь внезапные отказы от внешних воздействий, не связанные с состоянием самого станка.

При продолжительной эксплуатации станка начинают проявляться медленно протекающие процессы (износ, коррозия), которые уменьшают запас надежности. При  $K_n$ , приближающимся по величине к единице, необходим ремонт станка.

## **Контрольные вопросы и задания**

1. Какое состояние технологической системы называют работоспособным?
2. Дайте определение отказа и перечислите виды отказов.
3. Поясните процессы, протекающие в станке, вызывающие отказ.
4. Как влияют на рабочее состояние станка процессы быстропротекающие, средней скорости и медленные?
5. В чем выражается старение станка?
6. Изобразите диаграмму изменения точности станка во времени.

## **3. Методы испытания станков на точность. Нормы точности**

### **3.1. Типы геометрических погрешностей**

При исследовании точности деревообрабатывающих станков все многообразные геометрические погрешности объединяют в несколько однотипных групп, а численную величину погрешностей выражают в относительной форме независимо от размеров контролируемого элемента станка.

Наибольшее влияние на точность станков оказывают следующие виды геометрических погрешностей:

- неплоскость поверхности;
- непрямолинейность траектории перемещения;
- непараллельность элементов станков и их перемещений;
- неперпендикулярность относительного положения элементов и направлений их перемещения;
- несоосность валов (осей);
- биение валов радиальное и осевое.

### 3.1.1. Неплоскость и непрямолинейность поверхности

Геометрические погрешности поверхностей столов и

направляющих линеек  
стакнов характеризуются  
неплоскостью, кото-  
рая обнаруживается в ви-  
де щели  $f_o$  между иссле-  
дуемой поверхностью и  
поверхностью повероч-  
ной линейки, устано-  
ленной на стол (рис. 14).

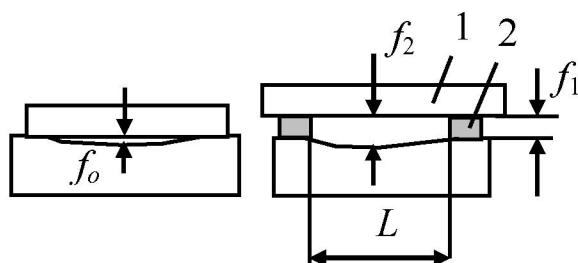


Рис. 14. Схема измерения плоскости

При измерении неплоскости обычно поверочную линейку 1 устанавливают на опоры 2 (плоскопараллельные концевые меры длины) одинаковой толщины и зазор  $f_2$  щели измеряют щупами. Для измерения ищут максимальный зазор щели.

Неплоскость измеряют в продольном, поперечном и диагональных направлениях.

Наибольшая стрела кривизны  $f_o$  определяется как разность между наибольшим зазором  $f_2$  и толщиной опор  $f_1$ :

$$f_o = f_2 - f_1.$$

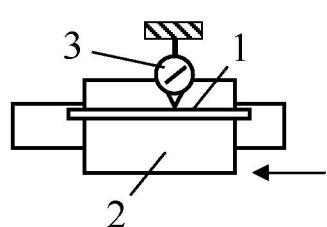


Рис. 15. Схема измерения непрямолинейности перемещения стола  
перемещения

### 3.1.2. Непрямолинейность траектории перемещения

Траектории перемещений суппортов, столов и кареток должны быть прямолинейны. Погрешности траектории перемещения измеряются при помощи поверочной линейки и индикатора часового типа. Поверочная линейка 1 (рис. 15) устанавливается на

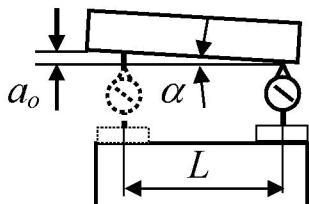


Рис. 16. Схема измерения непараллельности элементов

показание индикатора показывает кривизну траектории перемещения на длине поверочной линейки. Затем делается перерасчет кривизны, относя ее к 1000 мм хода стола.

### 3.1.3. Непараллельность элементов и перемещений

Непараллельное расположение элементов станка выражается величиной уклона  $a$  на длине 1000 мм. Измеряется непараллельность с помощью уровня, нутромера или индикатора.

Если на длине элемента  $L$  станка найти величину уклона  $a_o$ , то пересчет на стандартную длину выполняется с использованием следующих выражений (рис. 16):

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{a_o}{L} = \frac{a}{1000}, \\ a &= \frac{1000 a_o}{L}, \end{aligned} \quad (21)$$

где  $a_o$  и  $a$  – величина непараллельности в мм на длине соответственно  $L$  и 1000 мм.

### 3.1.4. Неперпендикулярность относительного положения элементов

Взаимная неперпендикулярность элементов станка определяется отклонением положения от прямого угла на величину  $n_o$  на длине  $L$ . Измерение величины  $n_o$  производят с помощью поверочного угольника с углом  $90^\circ$ , который плотно подводят к обеим контролируемым поверхностям, и щупа

стол 2 так, чтобы в крайних положениях стола индикатор 3, контактирующий с линейкой, показывал ноль делений. При испытании стол перемещают из одного крайнего положения в другое и фиксируют показания индикатора. Максимальное

или индикатора. Перерасчет непараллельности на стандартное значение производят по формуле:

$$n = \frac{1000n_o}{L}, \quad (22)$$

где  $L$  – расстояние, мм, от основания поверочного угольника до места измерения зазора  $n_o$ , мм.

### 3.1.5. Несоосность валов

Несоосность валов характеризуется несовпадением их геометрических осей. Численной характеристикой несоосности служит величина эксцентризитета  $e$ , мм. Соосность измеряют индикатором, закрепленным струбциной на одном из валов так, чтобы мерительный стержень индикатора упирался в поверхность второго вала. При измерении вал с индикатором медленно поворачивают и индикатором фиксируют отклонения величины эксцентризитета. Максимальное значение отклонения принимается за величину несоосности.

### 3.1.6. Радиальное и осевое биение

**Радиальное биение** шеек шпинделей, валов, роликов, мест посадки режущих инструментов определяется индикатором как разность максимального и минимального отклонений при медленном поворачивании вала. Для измерений индикатор неподвижно устанавливают на станине станка и измерительный стержень подводят в контакт с исследуемой поверхностью. Затем вал медленно поворачивают на полный оборот и фиксируют максимальное и минимальное показания индикатора в мм.

**Осевое биение** зажимных фланцев определяют с помощью индикатора, измерительный стержень которого устанавливают перпендикулярно к поверхности фланца у его периферии. При повороте вала на один оборот находят максимальное отклонение в мм.

### **3.2. Общие требования к испытанию станков**

Испытанию на точность подвергается каждый изготовленный на предприятии-изготовителе станок и каждый станок, прошедший капитальный ремонт. Нормы точности станка после капитального ремонта должны соответствовать требованиям нормативно-технической документации, действовавшей в период изготовления станка [ГОСТ 25338-91].

Проверка станка на точность проводится после его сборки и испытаний на холостом ходу и в работе. Перед испытанием проводится необходимая регулировка станка. Во время испытания никакие регулировки не допускаются.

Допуск на установку станка контролируется по уровню в горизонтальной плоскости – не более 0,2 мм на 1000 мм, если не указаны другие требования. Точность работы станка проверяется по образцам, обработанным на станке.

При испытании на точность проверяется:

- точность баз для установки заготовки и инструмента;
- точность траекторий перемещений рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент;
- точность расположения осей вращения и направлений прямолинейных перемещений рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент относительно друг друга и относительно баз;
- точность координатных перемещений (позиционирования) рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент;
- стабильность параметров (точность подвода на жесткий упор, точность подвода в заданную позицию и др.) при многократном повторении проверки;
- точность геометрической формы расположения и качество обработанной поверхности образца.

При назначении допуска величина предельного отклонения должна быть отнесена к длине 1000 мм или 100 мм, и только в обоснованных случаях – к другой длине.

При установке в горизонтальной плоскости контрольной линейки длиной выше 500 мм на две калиброванные плитки одинаковой высоты расстояние плиток от концов линейки должно быть не более 2/9 длины линейки. Общая погрешность метода измерения от допускаемых отклонений измеряемой величины не должна превышать 20%.

Для измерения отклонений могут быть использованы линейка поверочная, стойка индикаторная магнитная с индикатором часового типа, уровень рамный и слесарный, нутrometer микрометрический, щупы, угольник поверочный и плоскопараллельные концевые меры длины (плитки).

### **3.3. Рамы лесопильные одноэтажные**

#### **3.3.1. Общие сведения**

Вертикальные одноэтажные двухшатунные лесопильные рамы предназначены для распиловки бревен и брусьев.

Рамы имеют следующие основные параметры. Ширина просвета пильной рамки – 630 и 800 мм, ход пильной рамки – 400 и 500 мм, число двойных ходов пильной рамки в минуту – 250 и 270, наибольшая величина подачи за двойной ход – 35 и 40 мм.

#### **3.3.2. Горизонтальность осей нижних подающих вальцов**

Нижние подающие вальцы должны быть установлены в горизонтальной плоскости. Проверку производят по схеме рис. 17 (ГОСТ 10295-90).

На валу переднего нижнего подающего вальца 1 устанавливают специальное приспособление с плоской верхней

поверхностью. При этом регулировочный винт 3 приспособления должен касаться средней точки заднего нижнего вальца 2.

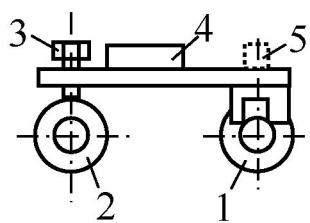


Рис. 17. Схема проверки горизонтальности вальцов

и пузырьком имеют деления для отсчета положения наклона уровня относительно горизонтальной плоскости. Уровни выпускаются с ценой деления 0,02; 0,05; 0,10 и 0,15 мм/м. Ценой деления шкалы ампулы называют значение наклона ампулы в мм в вертикальной плоскости на длине 1 м.

Отклонение от горизонтальной плоскости равно наибольшему показанию уровня в положении 5. Допуск горизонтальности равен 0,3 мм на длине 1000 мм.

### 3.3.3. Параллельность осей подающих вальцов

Оси подающих вальцов, расположенные в горизонтальных и вертикальных плоскостях, должны быть параллельны.

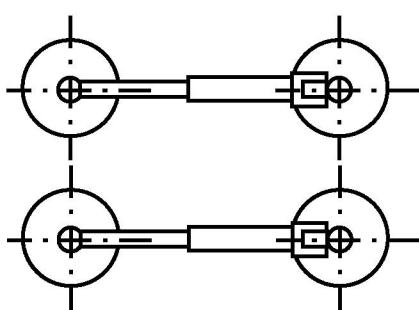


Рис. 18. Схема проверки параллельности осей вальцов

На приспособлении устанавливают уровень 4 в направлении подачи и регулировочным винтом приспособление выставляют в горизонтальной плоскости. Затем уровень устанавливают параллельно проверяемому вальцу в положение 5.

Брусковые уровни с ампулой и пузырьком имеют деления для отсчета положения наклона уровня относительно горизонтальной плоскости. Уровни выпускаются с ценой деления 0,02; 0,05; 0,10 и 0,15 мм/м. Ценой деления шкалы ампулы называют значение наклона ампулы в мм в вертикальной плоскости на длине 1 м.

**Параллельность в горизонтальной плоскости.** Допуск параллельности равен 0,3 мм на длине 1000 мм.

Проверка проводится в соответствии со схемой, указанной на рис. 18.

Микрометрический нутrometer со специальной призмой устанавливают между валами нижних

подающих вальцов в точках, наиболее удаленных друг от друга по длине вала.

Отклонение от параллельности равно алгебраической разности показаний нутромера. Также выполняются измерения для верхних подающих вальцов.

**Параллельность в вертикальной плоскости.** Допуск параллельности составляет 0,5 мм на длине 1000 мм.

Проверка проводится аналогичным способом, только микрометрический нутромер устанавливают между валами нижнего и верхнего задних подающих вальцов (передних подающих вальцов) в точках, наиболее удаленных друг от друга по длине вала.

### 3.3.4. Точность перемещения пильной рамки

Пильная рамка с пилами должна перемещаться перпендикулярно к оси нижнего переднего подающего вальца.

Допуск перпендикулярности 0,7 мм на длине 1000 мм. Проверка проводится в соответствии со схемой, указанной на рис. 19.

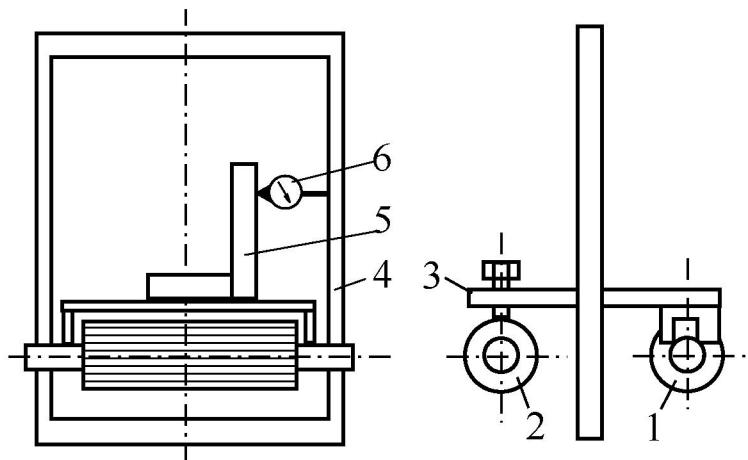


Рис.19. Схема проверки перпендикулярности пильной рамки к вальцам

На валы нижних подающих вальцов 1 и 2 устанавливают специальное приспособление 3.

На стойке пильной рамки 4 при ее крайнем верхнем положении укрепляют стойку с индикатором 6 так, чтобы его измерительный наконечник касался вертикальной грани поворотного уголника 5, установленного на приспособлении 3.

Пильную рамку опускают в крайнее нижнее положение.

Отклонение от перпендикулярности равно алгебраической разности показаний индикатора на длине перемещения.

### 3.3.5. Проверка положения установочной линейки

Установочная линейка должна располагаться параллельно оси переднего нижнего подающего вальца. Допуск параллельности равен 0,3 мм на длине 1000 мм.

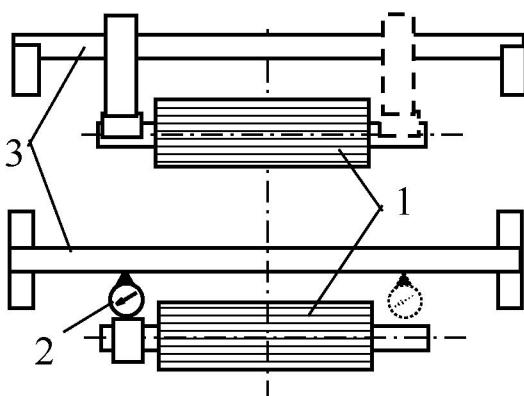


Рис. 20. Схема проверки параллельности линейки и подающего вальца

Проверка проводится в соответствии со схемой, указанной на рис. 20. На валу переднего нижнего подающего вальца 1 устанавливают индикатор 2 на стойке со специальной призмой так, чтобы его измерительный наконечник касался рабочей грани установочной линейки 3.

Вертикальное положение стойки индикатора проверяют по уровню.

Измерения проводят в точках, наиболее удаленных друг от друга.

Отклонение от параллельности равно алгебраической разности показаний индикатора.

## **3.4. Станки круглопильные для продольной распиловки древесины**

### **3.4.1. Общая характеристика станков**

Круглопильные станки для продольного пиления предназначены для распиловки бревен на брусья и доски, брусьев на доски и досок на заготовки. Наибольшая высота пропила на станках достигает 800 мм для бревнопильных станков, 200 мм для станков для раскряя брусьев и 100 мм для раскряя досок. Наибольшая ширина распиливаемого бруса 400...630 мм. Наименьшая длина распиливаемого материала 500...2700 мм. Скорость главного движения не менее 40 м/с, скорость подачи равна 10...150 м/мин. В поставе устанавливается от 1 до 12 пил диаметром 380...1000 мм.

### **3.4.2. Радиальное биение посадочных поверхностей под пилы**

Испытание точности круглопильного станка начинают с исследования радиального биения посадочных поверхностей под пилы. Схема измерений для однопильных и многопильных станков приведена на рис. 21.

При измерении индикатор 1 устанавливают на станине станка или на кронштейне направляющих пил так, чтобы его измерительный наконечник касался посадочной поверхности 2 и был перпендикулярен ей (ГОСТ 30091-93).

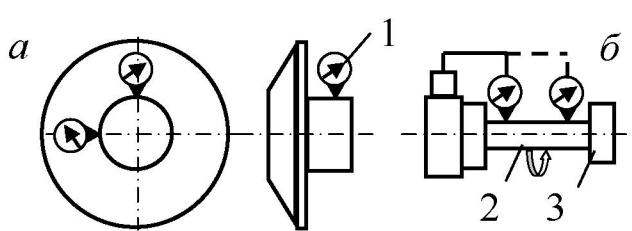


Рис. 21. Схема измерения радиального биения пильного вала станка:  
а – однопильного; б – многопильного

Радиальное биение измеряют не менее чем в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, проходящих через ось вращения, а для

многопильных станков, кроме того, не менее чем в двух положениях по длине посадочной поверхности при установленной съемной опоре 3.

Величина отклонения принимается равной наибольшей алгебраической разности показаний индикатора в каждом его положении. Допуск – 0,04 мм.

### 3.4.3. Торцовое биение поверхности опорного зажимного фланца пилы

Проверку проводят в соответствии со схемой, указанной на рис. 22. Индикатор 1 устанавливается на станине станка

так, чтобы его измерительный наконечник касался поверхности опорного фланца 2 у периферии и был перпендикулярен к ней.

Отклонение равно наибольшей алгебраической разности показаний индикатора в каждом его положении.

Допуск – 0,03 мм на

диаметре 100 мм.

### 3.4.4. Параллельность образующих подающих вальцов многопильных станков

#### Проверку параллельности образующих подающих

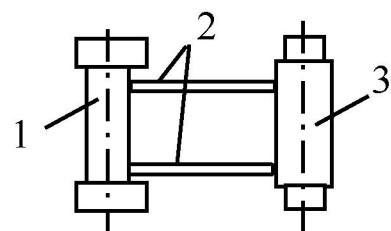


Рис. 23. Схема проверки вальцов

вальцов многопильных станков проводят в соответствии со схемой, указанной на рис. 23.

Микрометрическим нутромером 2 измеряют расстояние между образующей посадочной части пильного вала 1 и

образующими нижних и верхних вальцов 3 в диаметральной плоскости, в точках наиболее удаленных друг от друга. Отклонение равно разности измерений, отнесенной к расстоянию между точками измерения.

Допуск — 0,5 мм на длине 1000 мм.

**Параллельность образующих нижних подающих вальцов** и пильного вала в горизонтальной плоскости контролируют по схеме рис. 24.

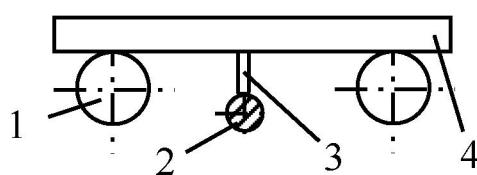


Рис. 24. Схема выверки нижних подающих вальцов

На нижние вальцы 1, расположенные по обеим сторонам пильного вала 2, устанавливают поверочную линейку 4.

Микрометрическим нутрометром 3 изме-

ряют расстояние между образующей посадочной части пильного вала и поверочной линейкой в точках, наиболее удаленных друг от друга (по краям вальцов). Величина отклонения находится как отношение разности измерений к расстоянию между точками измерений.

Допуск — 0,5 мм на длине 1000 мм.

**Параллельность образующих верхних вальцов нижним** в горизонтальной плоскости определяется следующим образом.

Плоскопараллельные концевые меры длины одинаковой высоты устанавливают между верхним и нижним вальцами по краям вальцов в точках, наиболее удаленных друг от друга. Размер просвета между образующей верхнего вальца и незажатой концевой мерой длины измеряют щупом.

Отклонение находят по размеру просвета, отнесенному к расстоянию между точками измерения.

Допуск — 0,6 мм на длине 1000 мм.

**Положение нижних вальцов.** Образующие нижних подающих вальцов должны быть расположены в одной горизонтальной плоскости. Проверку производят так.

На первую пару нижних вальцов устанавливают в продольных и диагональных положениях поверочную линейку с уровнем.

Измерения проводят в каждом положении линейки. Проверяют последовательно каждую пару смежных вальцов.

Отклонение равно наибольшему значению результатов измерений.

Допуск — 0,6 мм на длине 1000 мм.

### 3.4.5. Проверка положения пильного диска

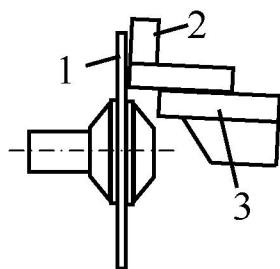


Рис. 25. Схема измерения перпендикулярности диска  
На пильном валу устанавливают и закрепляют контрольный диск 1, поверочный угольник 2 устанавливают на опорную поверхность загрузочной тележки 3. Щупом измеряют размер зазора между угольником и диском. Измерение проводят на двух крайних стойках тележки.

Отклонение равно наибольшему значению результатов измерений.

Допуск — 2,0 мм на длине 1000 мм.

Пильный диск станка должен быть расположен перпендикулярно к базовой плоскости стола или тележки.

Проверку проводят в соответствии со схемой, указанной на рис. 25.

На пильном валу устанавливают и закрепляют контрольный диск 1, поверочный угольник 2 устанавливают на опорную поверхность загрузочной тележки 3. Щупом измеряют размер зазора между угольником и диском. Измерение проводят на двух крайних стойках тележки.

Отклонение равно наибольшему значению результатов измерений.

Допуск — 2,0 мм на длине 1000 мм.

### 3.4.6. Контроль размеров и формы пиломатериалов

Пиломатериалы, полученные на круглопильном станке, должны иметь заданную толщину, а кромки их должны быть перпендикулярны пластям.

**Проверку толщины** пиломатериалов проводят так. Измеряют толщину пиломатериала штангенциркулем в трех точках на расстоянии  $l = 0,5$  м от концов и в середине. Затем определяют отклонение, как наибольшую алгебраическую разность измерений и установленного размера.

Допуск размера по толщине должен быть не более  $\pm 1$  мм для пиломатериалов толщиной 40 мм;  $\pm 2$  мм для пиломатериалов толщиной более 40 мм до 100 мм и  $\pm 3$  мм для пиломатериалов толщиной свыше 100 мм.

**При проверке перпендикулярности** на обработанной доске толщиной не менее 30 мм проверяют угольником и щупом перпендикулярность поверхности пропила кромке доски.

Отклонение равно наибольшему значению результатов измерений.

Допуск — 0,5 мм на длине 1000 мм.

### 3.5. Станки ленточнопильные

Ленточнопильные станки для распиловки бревен подвергаются испытанию на точность в соответствии с требованиями ГОСТ 8-77. Нормы точности и методы определения отклонений приведены в ГОСТ 25135-82.

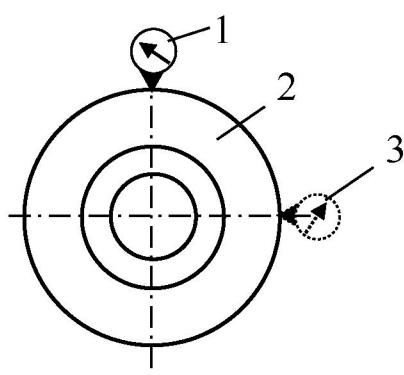


Рис. 26. Схема измерения радиального биения пильного шкива

#### 3.5.1. Радиальное биение обода пильного шкива

Для определения радиального биения обода пильного шкива показывающий прибор (индикатор часового типа) 1 устанавливают на станине станка.

Измерительный на конечник должен касаться наружной обработанной

поверхности обода пильного шкива 2 и должен быть расположен перпендикулярно к этой поверхности (рис. 26).

При измерениях шкив поворачивают на полный оборот и определяют максимальное и минимальное показания прибора. Отклонение равно разности этих показаний.

Второе измерение выполняют при установке измерительного прибора в позицию 3.

Проверяют верхний и нижний шкивы в отдельности. Отклонение для каждого шкива равно наибольшему из результатов двух измерений.

Допуск имеет следующие значения. Для шкивов диаметром 1250 мм допуск равен 0,05 мм, для шкивов диаметром свыше 1250 мм – 0,08 мм.

### 3.5.2. Торцовое биение обода пильного шкива

Проверку проводят в соответствии со схемой, указанной на рис. 27. Индикатор 1 устанавливается на станине станка

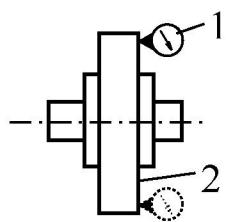


Рис. 27. Схема измерения торцового биения обода ленточнопильного станка

так, чтобы его измерительный наконечник касался торцовой обработанной поверхности обода пильного шкива 2 и был перпендикулярен к ней в плоскости измерения. Измерения выполняют при расположении измерительного прибора в верхнем и нижнем положении.

Проверяют верхний и нижний пильные шкивы. Отклонение для каждого шкива равно наибольшему из результатов двух измерений.

Допуск – 0,08 мм на радиусе 500 мм.

### 3.5.3. Параллельность торцов пильных шкивов

Торцевые поверхности верхнего и нижнего шкивов должны быть параллельными. Проверку осуществляют так.

Торцовую поверхность верхнего пильного шкива 1 (рис. 28), расположенную со стороны подачи распиливаемого материала, устанавливают с помощью рамного уровня в вертикальной плоскости с точностью до 0,1 мм/м. Отвес 2 закрепляют на станине станка и располагают так, чтобы его нить касалась торцовой поверхности шкива. Отвес закрепляют для измерений в двух положениях, симметричных относительно оси вращения шкива.

Размер А в точках В, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, и В<sub>3</sub> нижнего шкива 3 измеряют набором плоскопараллельных концевых мер длины и щупом в двух точках, расположенных симметрично, относительно горизонтальной оси шкива. Измерения повторяют при повороте нижнего шкива на 90°. Отклонение равно наибольшей алгебраической разности результатов измерений.

Допуск составляет 0,5 мм на длине 1000 мм.

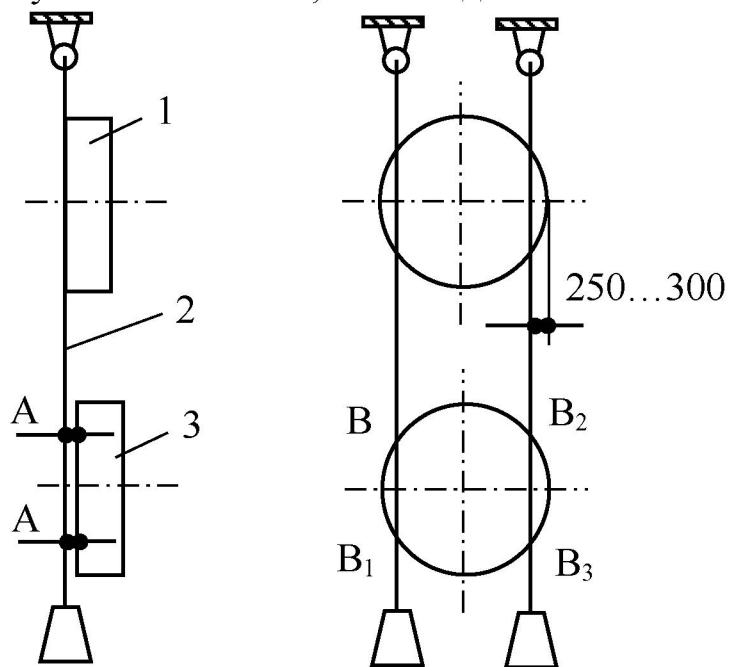


Рис. 28. Схема проверки параллельности торцовых поверхностей шкивов

### **3.5.4. Положение рабочей ветви пильной ленты**

Рабочая ветвь пильной ленты должна быть расположена в вертикальной плоскости. Проверку производят с помощью отвеса, нить которого приложена к пильной ленте у верхнего шкива. Измерения производят в двух точках, отстоящих друг от друга по высоте на расстоянии 1000 мм. В этих точках измеряют расстояние от нити отвеса до пильной ленты. Измерения повторяют при повороте шкива на 90°. Измерения в точках соединения пильной ленты не выполняют. Отклонение равно наибольшей разности результатов измерений. Допуск составляет 0,5 мм на длине 1000 мм.

### **3.5.5. Положение верхней направляющей пильной ленты**

При настройке станка на размер верхнюю направляющую пильной ленты перемещают по высоте. При этом направляющая должна иметь плоскопараллельное перемещение. Допуск отклонения от параллельности равен 0,1 мм на длине 300 мм.

При проверке параллельности направляющую пильной ленты перемещают из крайнего нижнего положения в крайнее верхнее. В каждом положении щупом измеряют расстояние между пильной лентой и вкладышем направляющей. Отклонение равно наибольшей разности результатов измерений.

### **3.5.6. Проверка пиломатериалов**

При работе станка из бревна или бруса выпиливают доски. Толщину досок измеряют штангенциркулем по обеим кромкам в трех сечениях: на расстоянии от торцов 0,5 м и по середине доски. Отклонение равно наибольшей разности результатов измерений.

Допуск для станков с диаметром пильных шкивов 1250 мм и более установлен в зависимости от толщины вы-пиливаемых пиломатериалов:

до 32 мм включительно .....	$\pm 1$ мм
от 40 до 100 мм .....	$\pm 2$ мм
свыше 100 мм .....	$\pm 3$ мм

## **3.6. Станки ленточнопильные столярные**

### **3.6.1. Общие сведения**

Станки ленточнопильные столярные предназначены для прямолинейной и криволинейной распиловки древесины.

Отечественная промышленность выпускает станки с диаметром пильных шкивов 400 и 800 мм. Наибольшая ширина пильной ленты равна 20 и 50 мм соответственно, скорость главного движения 30 и 40 м/с, наибольшая высота пропила равна 200 и 400 мм, размеры стола 500×500 и 1000×1000 мм<sup>2</sup>. Стол можно наклонить относительно плоскости пропила на угол до 45°.

Нормы точности станков установлены ГОСТ 6854-88. Основные параметры, проверяемые на точность, приведены ниже.

### **3.6.2. Плоскостность рабочей поверхности стола**

Рабочая поверхность стола должна быть плоской. Допуск на плоскостность равен 0,28 мм для стола длиной 500 мм и 0,4 мм при длине стола 1000 мм.

Для проверки плоскостности на рабочую поверхность стола вдоль его кромок в продольном, поперечном, а также в диагональных направлениях на двух плоскопараллельных концевых мерах длины одинаковой высоты устанавливают поверочную линейку. Зазор между столом и линейкой измеряют щупом. Находят алгебраическую разность результатов

измерений. За отклонение принимают наибольшую алгебраическую разность измерений.

### **3.6.3. Прямолинейность направляющей линейки**

Направляющая линейка станков может быть плоской или роликовой. В обоих случаях допуск на прямолинейность равен 0,2 мм на длине 500 мм. Выпуклость поверхности не допускается.

**Плоская направляющая линейка.** Для определения прямолинейности к поверхности направляющей линейки на двух плоскопараллельных концевых мерах длины в диагональных направлениях прикладывают поверочную линейку. Просвет между направляющей и поверочной линейками измеряют щупом. Отклонение равно наибольшей алгебраической разности результатов измерений.

**Роликовая линейка.** К крайним роликам линейки на двух плоскопараллельных концевых мерах длины в продольном направлении прикладывают поверочную линейку. Зазор между поверочной линейкой и каждым роликом измеряют щупом. Измерения производят в трех и более положениях роликов, поворачивая их на угол 90°.

Отклонение равно наибольшей алгебраической разности результатов измерений.

### **3.6.4. Перпендикулярность направляющей линейки и пилы к поверхности стола**

**Направляющую линейку станка** как плоскую, так и роликовую устанавливают перпендикулярно к поверхности стола. Допуск в том и другом случаях равен 0,1 мм на длине 100 мм.

Проверку перпендикулярности производят с помощью поверочного угольника, который прикладывают одновременно к поверхности стола и направляющей линейки. На-

правляющую линейку при измерениях устанавливают в двух положениях на расстоянии 10 и 200 мм от пильной ленты. Измерения проводят в трех сечениях по длине направляющей линейки. Зазор между поверочным угольником и направляющей линейкой измеряют щупом.

При использовании роликовой направляющей линейки измерения производят последовательно для каждого ролика в трех и более положениях с поворотом роликов на угол  $90^\circ$ .

Отклонение равно наибольшей алгебраической разности результатов измерений.

**Допуск перпендикулярности пильной ленты к поверхности стола** равен 0,1 мм на длине 100 мм. Измерение отклонения производят поверочным угольником и щупами. Измерения проводят в трех положениях пильных шкивов с поворотом их на  $120^\circ$ .

### 3.6.5. Другие параметры точности

**Радиальное биение обода пильных шкивов.** Допуск на радиальное биение равен 0,16 мм для станков с диаметром шкивов 400 мм и 0,23 мм для станков со шкивами диаметром 800 мм.

Измерение отклонения производят индикатором часового типа, который устанавливают на станине станка так, чтобы его измерительный наконечник касался внутренней поверхности шкива, обработанной с одной установки с наружной поверхностью.

Измерения производят для верхнего и нижнего шкивов в отдельности при снятой пильной ленте.

**Торцовое биение обода пильных шкивов.** Допуск на торцовое биение обода равен 0,25 и 0,35 мм для шкивов диаметром соответственно 400 и 800 мм.

Измерение отклонения выполняют индикатором часового типа, который крепят на станине, а измерительным на-

конечником касаются торцовой поверхности обода шкива. Измерения производят последовательно на обоих шкивах при снятой пильной ленте.

**Расположение пильных шкивов.** Ободы пильных шкивов должны быть расположены в одной плоскости. Допуск составляет 0,3 и 0,4 мм для шкивов соответственно 400 и 800 мм.

Измерение отклонения производят во время сборки станка щупами и поверочной линейкой, которую прикладывают к торцевым поверхностям верхнего и нижнего шкивов одновременно слева и справа от вертикальной оси на расстоянии  $D/3$ .

**Параллельность перемещения направляющего устройства пильной ленты.** Зазор между пильной лентой и верхней направляющей должен быть постоянным при любом положении направляющей по высоте. Допуск равен 0,3 и 0,4 мм для станков с диаметрами шкивов соответственно 400 и 800 мм.

Измерения производят индикатором, который закрепляют на верхней направляющей так, чтобы его измерительный наконечник располагался перпендикулярно к пильной ленте и касался ее. Затем направляющую перемещают по высоте и измеряют отклонение. Отклонение от параллельности равно алгебраической разности показаний индикатора в данной плоскости.

## **3.7. Станки фуговальные**

### **3.7.1. Проверка плоскости столов**

Плоскость рабочей поверхности переднего и заднего столов станка проверяют с помощью поверочной линейки, плоскопараллельных концевых мер длины и щупа в

соответствии требований ГОСТ 7097-78. Измерения производят по схеме рис. 29.

В указанные на схеме крайние точки кладут опоры (плоскопараллельные концевые меры длины) и на них устанавливают поверочную линейку. Зазор между столом и поверочной линейкой измеряют концевыми мерами длины и щупом. Отклонение определяют как наибольшее значение из

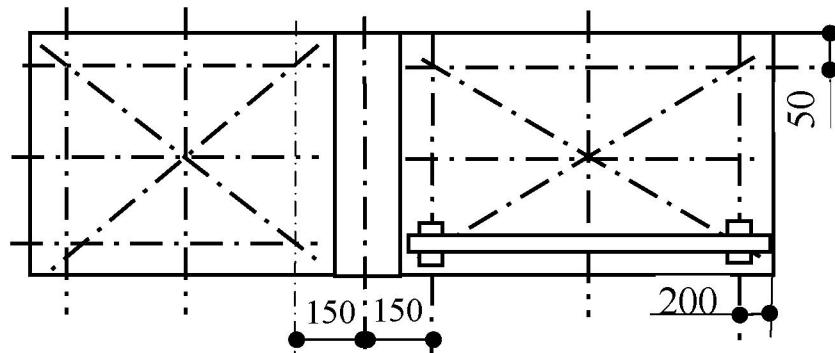


Рис. 29. Схема проверки плоскостности столов

полученных результатов измерений.

Допуск равен 0,20 и 0,25 мм для столов длиною соответственно до 1000 и 1000...1500 мм.

### 3.7.2. Параллельность столов

Рабочие поверхности переднего и заднего столов станка должны быть параллельны. Допуск отклонения от параллельности равен 0,2 мм на длине заднего стола 1000 мм. Наклон рабочей поверхности в сторону ножевого вала не допускается.

Измерение отклонения выполняют по схеме рис. 30.

На рабочую поверхность переднего стола 2 на плоско-параллельных концевых мерах длины 1 устанавливают поверочную линейку 4 так, чтобы другой ее конец нависал над поверхностью заднего стола 3. Зазор измеряют щупом в двух сечениях по длине стола. Проверку проводят также в двух

сечениях по ширине стола в верхнем и нижнем положениях переднего стола.

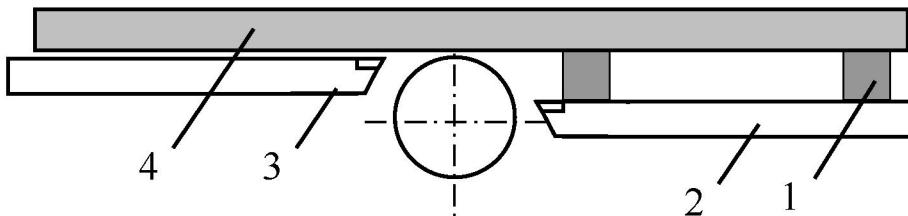


Рис. 30. Схема проверки параллельности столов

### 3.7.3. Параллельность ножевого вала к поверхности заднего стола

Образующая цилиндрической поверхности ножевого вала фуговального станка должна быть расположена параллельно рабочей поверхности заднего стола. Допуск параллельности равен 0,1 и 0,15 мм для ножевых валов длиною соответственно до 400 мм и 400...630 мм.

Проверку параллельности выполняют с помощью магнитной стойки с индикаторной головкой по схеме рис. 31.

На рабочую поверхность заднего стола устанавливают магнитную стойку с индикатором часового типа так, чтобы

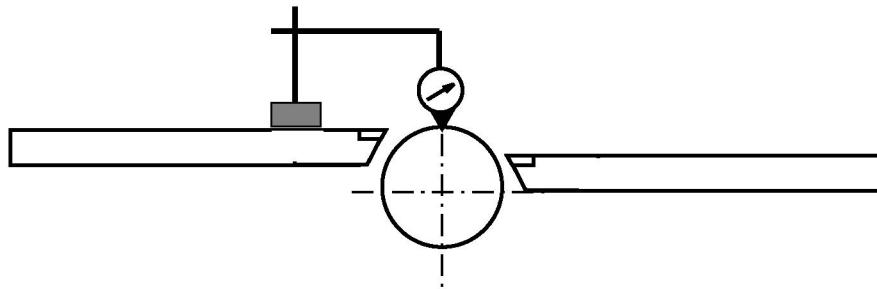


Рис. 31. Схема проверки параллельности ножевого вала к заднему столу

его измерительный наконечник касался образующей цилиндрической поверхности ножевого вала и был перпендикулярен ей в плоскости измерения. Измерения производят в двух положениях стойки: по левому и по правому краю ножевого вала в двух его положениях при повороте на 180°.

Отклонение определяют как наибольшую алгебраическую разность результатов измерений в двух крайних сечениях по длине вала в двух его положениях.

### 3.7.4. Радиальное биение ножевого вала

Для измерения радиального биения ножевого вала на заднюю поверхность заднего стола (рис. 32) устанавливают индикатор часового типа так, чтобы его измерительный конечник касался цилиндрической поверхности шейки и был

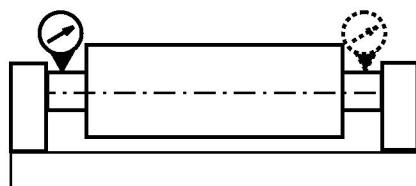


Рис. 32. Схема измерения радиального биения ножевого вала

в каждом положении.

перпендикулярен ей в плоскости измерения. Измерения производят последовательно по левой и правой шейкам вала.

Биение определяют как наибольшую алгебраическую разность результатов измере-

ний в каждом положении.

Допуск равен 0,03 мм.

### 3.7.5. Проверка точности станка в работе

При работе фуговального станка определяют плоскость и шероховатость обработанных поверхностей, а также перпендикулярность обработанных кромки и пласти заготовки.

**Плоскость** определяют с помощью поверочной линейки, прикладываемой в продольных и диагональных направлениях, и щупа. Допуск равен 0,15 мм на длине 1000 мм.

**Перпендикулярность** пласти и кромки заготовки определяют с помощью поверочного угольника и щупа. Измерения производят по краям заготовки на расстоянии 20 мм от торцов и по середине. Отклонение определяют как наи-

большую величину просвета в каждом сечении. Допуск равен 0,1 мм на длине 100 мм.

### 3.8. Проверка точности рейсмусового станка

**Плоскость рабочей поверхности стола.** Проверку производят с помощью поверочной линейки, плоскопараллельных концевых мер длины и щупов. Измерения производят общепринятым способом в двух продольных, по-перечных и диагональных направлениях (ГОСТ 7228-75). Допуск равен 0,15 мм на длине 1000 мм (выпуклость поверхности стола не допускается).

**Радиальное биение цилиндрической поверхности нижних валиков.** Измерение производится индикаторной головкой, смонтированной на стойке, которую устанавливают на столе в двух крайних положениях по длине каждого валика. Допуск равен 0,05 мм.

**Параллельность образующей цилиндрической поверхности нижних валиков рабочей поверхности стола**

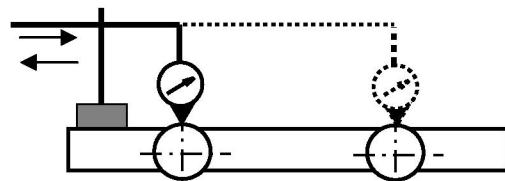


Рис. 33. Схема проверки параллельности валиков к поверхности стола

производится по схеме рис. 33. На рабочую поверхность стола устанавливают индикаторную стойку так, чтобы измерительный наконечник прибора последовательно касался цилиндрической поверхности каждого из валиков

и был перпендикулярен их осям.

При измерении индикаторную стойку перемещают перпендикулярно оси валика до получения наибольшего показания измерительного прибора. Измерения производят в двух крайних сечениях по длине каждого валика. За отклонение принимают величину алгебраической разности результатов измерений.

Допуск равен 0,15 мм на длине 1000 мм.

**Радиальное биение цилиндрической поверхности корпуса ножевого вала** проверяется с использованием индикаторной стойки. Измерение проводят в двух крайних сечениях по длине ножевого вала. За биение принимают наибольшую величину алгебраической разности результатов измерений.

Допуск равен 0,03 мм.

**Параллельность рабочей поверхности стола цилиндрической поверхности корпуса ножевого вала** проверяют с использованием плоскопараллельных концевых мер длины и шупа. Концевую меру длины кладут на поверхность стола под ножевой вал. Зазор между валом и концевой мерой длины измеряют щупом. Измерения производят в среднем и двух крайних положениях стола по высоте, а также в двух крайних положениях по ширине стола.

За отклонение принимают наибольшую величину алгебраической разности результатов измерений.

Допуск равен 0,15 мм на длине 1000 мм.

### **3.9. Проверка точности четырехстороннего продольно-фрезерного станка**

Методы проверки точности четырехстороннего продольно-фрезерного станка имеют много общего с методами проверки фуговального и рейсмусового станков.

**Плоскость рабочей поверхности столов** определяется поверочной линейкой, установленной на плоскопараллельных концевых мерах длины, и щупом. Допуск – 0,15 мм на 1000 мм. Допуск прямолинейности рабочих поверхностей направляющих линеек равен 0,1 мм на длине 1000 мм (ГОСТ 7315-83).

**Параллельность рабочих поверхностей столов и направляющих линеек** проверяется по методу, изложенно-

му в разделе для фуговального станка. Допуск – 0,2 мм на длине 1000 мм.

**Радиальное биение опорных вальцов** контролируется индикаторной головкой, допуск 0,08 мм. Радиальное биение шпинделей – 0,03 мм.

**Параллельность верхних образующих опорных вальцов рабочей поверхности заднего стола.** На рабочей поверхности заднего стола устанавливают на специальной стойке индикатор так, чтобы его измерительный наконечник касался последовательно верхней образующей каждого опорного вальца и был перпендикулярен этой образующей. Измерение производят в двух крайних положениях по длине вальца. Отклонение равно наибольшей алгебраической разности результатов измерений в двух сечениях. Допуск – 0,05 мм на длине 100 мм.

Горизонтальные шпинтели устанавливаются параллельно рабочей поверхности заднего стола с допуском 0,03 мм на длине 100 мм.

Перпендикулярность осей вращения вертикальных шпинделей рабочей поверхности стола и горизонтальных шпинделей рабочей поверхности направляющих линеек обеспечивается с допуском 0,05 мм на 100 мм длины.

## Контрольные вопросы и задания

1. Изобразите схему проверки неплоскости и непрямолинейности поверхности.
2. Какие измерительные инструменты применяются для контроля геометрических погрешностей?
3. При измерении получили непараллельность 0,2 мм на длине 300 мм и неперпендикулярность 0,1 мм на длине 150 мм. Сделайте перерасчет этих параметров на стандартную длину 1000 мм.
4. Изобразите схему проверки параллельности подающих вальцов станка.

5. Изобразите схему проверки радиального и торцового биения посадочного места под пилу круглопильного станка.

6. Какие проверки геометрических погрешностей выполняются для фуговального, рейсмусового и четырехстороннего продольно-фрезерного станков?

## **4. Обеспечение точности и стабильности технологических операций**

### **4.1. Наладка станка**

Деревообрабатывающие станки продаются покупателю в полностью собранном виде. После доставки станка в цех деревообрабатывающего предприятия его устанавливают на рабочее место. Станок становится одним из элементов функционирующей технологической системы деревообрабатывающего цеха. После монтажа станок подвергается наладке и различным испытаниям. Наладкой оборудования называют комплекс трудовых приемов [9, 10], включающий в себя проверку, регулирование и согласование взаимодействия всех узлов оборудования, установление режимов обработки, пробный пуск оборудования и контроль обработанных деталей.

**Таким образом, под наладкой понимают совокупность операций по подготовке станка к работе.** Различают наладку первоначальную и текущую.

#### **4.1.1. Первоначальная наладка**

Первоначальную наладку производят по окончании монтажа станка в цехе или после капитального ремонта станка.

Первоначальную наладку выполняют на деревообрабатывающем предприятии с целью проверки соответствия фактических и нормативных показателей станков. При наладке проверяют пригодность станка к выполнению технологических операций, предусмотренных нормативно-технической документацией. Проверяется исправное состояние всех функциональных механизмов станка. Контролируется геометрическая точность относительного положения механизмов, величина биения и зазоров в подвижных соединениях, жесткость упругой системы, вибрация станка, правильность функционирования отдельных механизмов.

Контролируемые параметры характеризуют точность станка. Они оказывают непосредственное влияние на качество

обрабатываемых деталей, на производительность процесса, КПД, экономичность работы и т.д.

Исправность механизмов станка и их перемещений устанавливается путем проведения серии испытаний.

**Испытанием называют экспериментальное определение количественных и качественных характеристик станка при его функционировании.**

Испытания проводятся в следующем порядке: внешний осмотр, пуск, испытания на холостом ходу, пробная обработка деталей, испытание в работе под нагрузкой.

При внешнем осмотре и проверяется соответствие параметров станка паспортным данным.

**При подготовке станка к пуску** делается следующее:

готовится рабочее место наладчика;

с оборудования удаляется антикоррозийное покрытие и промываются механизмы станка керосином;

поверхности станка протираются чистой ветошью и для предохранения их от ржавчины покрываются тонким слоем масла И-20 по ГОСТ 20799-75;

проверяется наличие заземления, состояние электроаппаратуры, изоляции проводов, состояние защитных ограждений;

смазываются все трещиющиеся соединения согласно карте смазки;

емкости гидравлической системы станка заполняются маслом;

проверяется состояние посадочных мест у шпинделя, состояние направляющих столов, суппортов и других узлов на отсутствие на их рабочих поверхностях забоин, заусениц, ржавчины и других дефектов;

контролируется наличие в аспирационной и пневмотранспортной системах требуемого разрежения, проверяется подача к оборудованию электроэнергии, сжатого воздуха;

вручную проверяется плавность перемещения (без рывков и заеданий) шпинделей, столов, суппортов и других элементов;

подбирается необходимый режущий и измерительный инструмент;

подбираются заготовки для испытания станка, контролируется их соответствие нормативным требованиям;  
устанавливается на станок режущий инструмент.

**Испытания станка на холостом ходу.** После устранения выявленных дефектов проводят опробование каждого агрегата и станка на холостом ходу. В течение 30 мин работы оборудования на холостом ходу надо выполнить следующие операции:

обеспечение всех требований техники безопасности, предусмотренных действующими стандартами и инструкциями;

проверить безотказность срабатывания кнопок "Пуск" и "Стоп", сигнальных лампочек, переключателей и блокировок на остановку и пуск отдельных узлов станка; проверка выполняется путем многократного испытания соответствующих кнопок;

убедиться в отсутствии недопустимой вибрации и высокого уровня шума при работе механизмов;

проверить правильность направления вращения шпинделей и подающих элементов станка;

убедиться в отсутствии утечки воздуха и масла из мест присоединения трубопроводов, крышек, маслоуказателей и др.;

проверить утечку масла при работе смазочных устройств;

проверить работу отдельных механизмов в наладочном и автономном режимах на холостом ходу, проверить плавность их движений, отсутствие рывков, нагрева из-за заклинивания и недостаточной смазки.

**При наладке** необходимо выполнить следующие операции:

наладить отдельные узлы и механизмы, а затем весь станок в целом;

установить необходимые величины перемещения суппортов, головок, столов и других подвижных узлов путем регулирования положения упоров и ограничителей хода;

выбрать режим работы станка;

проверить надежность захвата заготовки зажимным устройством;

проверить правильность подвода и отвода рабочих органов, зажима и освобождения обрабатываемых заготовок и т.д.;

проводить размерную настройку станка;  
проводить пробную обработку деталей;  
выполнить испытание станка на геометрическую и технологическую точность, испытание на жесткость, на виброустойчивость, испытание на надежность и долговечность  
проверить соответствие шума, температурных полей, мощности требованиям нормативно-технической документации.

Выполнение первоначальной наладки в полном объеме с достижением установленных норм является залогом качественной работы станка.

#### **4.1.2. Текущая наладка**

Текущую наладку выполняют каждый раз перед началом обработки партии деталей, отличающихся от предыдущей партии размерами, формой или породой древесины.

В процессе текущей наладки выполняются следующие работы [10].

1. Устанавливается режущий инструмент в станок.
2. Механизм главного движения станка приводится в работоспособное состояние, регулируется тормоз вала.
3. Перемещаются в необходимое положение установочные поверхности стола, каретки, направляющих линеек, упоров и фиксируются в этом положении.
4. Устанавливаются в необходимом положении подающие элементы станка, регулируется усилие прижима подающих элементов.
5. Проверяется работоспособность механизма подачи и настраивается заданная скорость подачи.
6. Устанавливаются в необходимом положении прижимные элементы станка, регулируется усилие прижима.
7. Проверяется надежность работы защитных элементов станка (ограждений, когтевых завес, электроблокировок и др.).
8. Проверяется надежность работы аспирационной системы станка.
9. Производится размерная настройка станка.

10. Производится смазка станка.

## **Контрольные вопросы и задания**

1. Назовите виды наладок.
2. Перечислите работы, относящиеся к каждому из видов наладок.

## **4.2. Технологическая стабильность операций**

### **4.2.1. Общие сведения**

В работающем станке наблюдаются энергетические процессы, протекающие с различной скоростью: быстро протекающие, протекающие со средней скоростью и медленно протекающие. Эти процессы приводят к изменению систематических погрешностей станка, а также увеличивают поле рассеивания погрешностей размеров в партии обработанных деталей. В связи с этим всегда существует потребность в том, чтобы процесс обработки на станке хотя бы одной партии деталей был стабилен.

**Стабильностью технологического процесса по ГОСТ 16949-71 называют свойство технологического процесса сохранять показатели качества изготавляемой продукции в заданных пределах в течение некоторого времени.** Для технологических операций, выполняемых на деревообрабатывающем станке, стабильностью называют свойство сохранять неизменным поле рассеяния погрешностей в течение определенного времени.

Проверка технологической стабильности операций проводится одновременно с проверкой точности на деревообрабатывающем предприятии своими силами. Проверки могут быть плановыми и неплановыми. Плановые проверки по требованию ГОСТ 16467-70 проводятся при запуске новой продукции, при вводе в эксплуатацию новых станков, после проведения ремонтов оборудования, при введении статистических методов контроля и качества продукции.

Неплановые проверки проводятся по указанию администрации предприятия.

Проверка точности и стабильности операций проводится по каждому параметру детали (толщине, ширине и т.д.) в отдельности.

#### **4.2.2. Метод определения технологической стабильности процесса**

**Образование выборок.** Для определения показателей технологической стабильности операций, выполняемых на станке, используют метод выборок. Станок налаживают для обработки партии деталей с заданным режимом, настраивают на необходимый размер и начинают работать. Через 30 мин работы, когда станок прогреется, а режущие кромки инструмента слегка притупятся делают первую мгновенную выборку, состоящую из 5...20 деталей. На каждой детали длиной 1 м и более измерение толщины (ширины) можно делать в трех сечениях: посередине и на расстоянии 100 мм от торцов. Таким образом, объем мгновенной выборки может содержать 15...60 измерений.

За период стойкости режущего инструмента необходимо образовать до 10 и более мгновенных выборок. Если период стойкости режущего инструмента равен 4 ч (240 мин), то через каждые 24 мин работы станка следует отобрать по одной мгновенной выборке. Таким образом, общая выборка будет состоять из 10 и более мгновенных выборок, взятых последовательно с одного станка за межнастроочный период с момента установки нового инструмента до его замены. В этом случае подналадка и поднастройка станка не допускаются. Объем общей выборки будет равен 50...200 деталей или 150...600 измерений.

**Расчет среднего значения и среднего квадратического отклонения по каждой мгновенной выборке в отдельности.** Среднее значение размера выборки или центр рассеивания определяется по формуле

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (23)$$

где  $x_i$  – исследуемые размеры деталей в мгновенной выборке, мм;

$n_j$  – количество измерений размеров, образующих данную мгновенную выборку;

$j$  – номер выборки по порядку,  $j = 1 \dots 10$  и более.

Среднее квадратическое отклонение выборок определяют по формуле

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n_j - 1}}. \quad (24)$$

ГОСТ 16467-70 допускает применение упрощенной формулы для определения среднего квадратического отклонения

$$S_j = \frac{R_j}{d_n}, \quad (25)$$

где  $R_j = x_{j\max} - x_{j\min}$  – величина размаха в мгновенной выборке;

$x_{j\max}$ ,  $x_{j\min}$  – максимальное и минимальное значения размера в мгновенной выборке, мм;

$d_n$  – коэффициент, зависящий от объема выборки (табл. 5).

Таблица 5

Значения коэффициента  $d_n$

$n$	$d_n$	$n$	$d_n$	$n$	$d_n$
2	1,128	9	2,970	16	3,532
3	1,693	10	3,078	17	3,558
4	2,059	11	3,173	18	3,640
5	2,326	12	3,258	19	3,689
6	2,534	13	3,336	20	3,735
7	2,704	14	3,407		
8	2,847	15	3,472		

При нормальном законе распределения поле рассеяния размера в каждой выборке

$$\omega_j = 6S_j. \quad (26)$$

Диаграмма изменения размеров. По каждой мгновенной выборке выше получены значения центров группирования размеров  $\bar{x}$  и полей рассеяния размеров  $\omega_j$  при известных объемах выборок  $n_j$ . Из полученных данных сформируем две общих выборки изменения параметров  $\bar{X}$  и  $\omega$  и запишем их в форме рядов распределения:

изменение параметра  $\bar{X}$

$\bar{x}_j$	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	...	$\bar{x}_k$	$\sum_{j=1}^k \bar{x}_j$
$n_j$	$n_1$	$n_1$	...	$n_k$	$\sum_{j=1}^k n_j$
$t_j$	$t_1$	$t_2$	...	$t_j$	$\sum_{j=1}^k t_j$

(27)

изменение параметра  $\omega$

$\omega_j$	$\omega_1$	$\omega_2$	...	$\omega_k$	$\sum_{j=1}^k \omega_j$
$n_j$	$n_1$	$n_1$	...	$n_k$	$\sum_{j=1}^k n_j$
$t_j$	$t_1$	$t_2$	...	$t_j$	$\sum_{j=1}^k t_j$

(28)

Построим график  $\bar{x}_j$  в функции времени  $t$  (рис. 34).

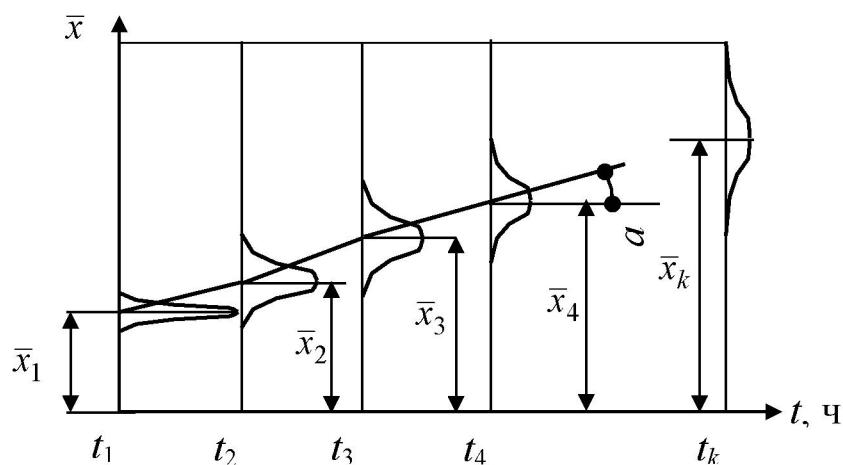


Рис. 34. Изменение погрешностей при обработке партии деталей

**Изменение среднего выборочного  $\bar{x}_j$  во времени.** Допустим, что увеличение значений  $\bar{x}_j$  происходит по линейному закону. Тогда, используя метод наименьших квадратов, напишем уравнение прямой в функции времени  $t$ :

$$\bar{X} = a + C_1 t. \quad (29)$$

Для нахождения параметров  $a$  и  $C_1$  уравнения запишем систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} C_1 \sum_{j=1}^k t_j^2 + a \sum_{j=1}^k t_j &= \sum_{j=1}^k t_j \bar{x}_j, \\ C_1 \sum_{j=1}^k t_j + ak &= \sum_{j=1}^k \bar{x}_j. \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

Из системы уравнений (30) нетрудно найти числа  $a$  и  $C_1$ . Для этого обозначим для краткости

$$d_1 = \sum_{j=1}^k t_j, \quad d_2 = \sum_{j=1}^k t_j^2, \quad e_0 = \sum_{j=1}^k \bar{x}_j, \quad e_1 = \sum_{j=1}^k t_j \bar{x}_j.$$

Тогда после решения системы (30) получим

$$C_1 = \frac{ke_1 - e_0 d_1}{kd_2 - d_1^2}, \quad a = \frac{e_0 d_2 - e_1 d_1}{kd_2 - d_1^2}. \quad (31)$$

Подставим найденные значения  $a$  и  $C_1$  в расчетную формулу (29), которую запишем в форме уравнения

$$y = \bar{x}_o + C_1 t, \quad (32)$$

где  $\bar{x}_o$  – среднее выборочное при  $t = 0$ .

Затем для оценки погрешности формулы находим расчетные значения  $y_j$  для каждой выборки, взятой в момент времени  $t_j$ .

Далее определяем  $\Delta_j = \bar{x}_j - y_j$ , а также  $\sum_{j=1}^k (\Delta_j)^2$ . Тогда средняя

квадратическая погрешность расчетных данных, полученных по формуле (32)

$$\delta = \sqrt{\frac{S}{k}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k (\Delta_j)^2}{k}}. \quad (33)$$

Параметр  $C_1 = \operatorname{tg} \alpha$ , где  $\alpha$  – угол наклона прямой линии

графика к оси абсцисс  $t$ . Если  $\alpha = 0$ , то параметр  $\bar{X}$  во времени не изменяется, и технологический процесс обработки партии деталей является стабильным. С увеличением угла  $\alpha$  процесс обработки деталей на станке переходит от стабильного к нестабильному.

Параметр  $C_1$  с размерностью мм/ч характеризует скорость смещения центра группирования размеров во времени и называется **коэффициентом смещения центра настройки**.

Для приближенного определения значения  $C_1$  достаточно определить средние выборочные для первой и последней выборок, взятых соответственно в начале и конце межнастроичного периода.

$$C_1 = \frac{\bar{x}_k - \bar{x}_1}{t_k - t_1}. \quad (34)$$

Параметр  $C_1$  может быть равен нулю, а также быть положительным и отрицательным по знаку, в зависимости от того, увеличивается или уменьшается значение  $\bar{X}$  во времени.

**Изменение рассеяния погрешностей мгновенных выборок во времени.** Используя распределение для  $\omega_j$  в общей выборке (28), составленное в функции времени  $t_j$ , и принимая зависимость  $\omega_j$  от  $t_j$  линейной, запишем уравнение в осях координат  $\omega_j$ , мм от  $t_j$ , ч:

$$\omega = b + C_2 t. \quad (35)$$

Для нахождения параметров  $b$  и  $C_2$  по методу наименьших квадратов составим систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} C_2 \sum_{j=1}^k t_j^2 + b \sum_{j=1}^k t_j &= \sum_{j=1}^k t_j \omega_j, \\ C_2 \sum_{j=1}^k t_j + bk &= \sum_{j=1}^k \omega_j. \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

Обозначим для краткости

$$d_1 = \sum_{j=1}^k t_j, \quad d_2 = \sum_{j=1}^k t_j^2, \quad e_0 = \sum_{j=1}^k \omega_j, \quad e_1 = \sum_{j=1}^k t_j \omega_j.$$

Тогда после решения системы (36) получим

$$C_2 = \frac{ke_1 - e_0d_1}{kd_2 - d_1^2}, \quad b = \frac{e_0d_2 - e_1d_1}{kd_2 - d_1^2}.$$

Подставим параметры  $b$  и  $C_2$  в (35), получим расчетное уравнение

$$\dot{y} = \omega_o + C_2 t, \quad (37)$$

где  $\omega_o = b$  – рассеяние погрешности в момент времени  $t = 0$ .

Параметр  $C_2 = \operatorname{tg}\alpha_2$ , где  $\alpha_2$  – угол наклона прямой линии (36) к оси абсцисс  $t$  графика. Параметр  $C_2$  с размерностью мм/ч характеризует скорость изменения рассеяния погрешностей во времени и называется **коэффициентом изменения рассеяния погрешностей**. Коэффициент  $C_2$  характеризует степень нестабильности технологического процесса. При  $C_2 = 0$  технологический процесс стабилен. При  $C_2 > 0$  процесс становится нестабилен. Степень нестабильности тем выше, чем больше значение  $C_2$ . Технологических процессов с  $C_2 < 0$  не бывает.

Для приближенного определения значения  $C_2$  достаточно определить значения рассеяния погрешностей в первой и последней выборках, взятых соответственно в начале и конце межнастроичного периода.

$$C_2 = \frac{\omega_k - \omega_1}{t_k - t_1}. \quad (38)$$

## 4.3. Настройка станков

### 4.3.1. Методы настройки деревообрабатывающих станков

**Размерной настройкой станка называется совокупность операций, обеспечивающих процесс регулирования расстояния между режущими кромками инструмента и базирующими элементами станка (столом, направляющей линейкой, упором и т.п.) с целью обработки возможно большего количества деталей с размерами в пределах заданного допуска в течение настроечного периода.**

Различают настройку статическую, настройку по методу обработки пробных деталей, автоматизированную по компьютерной программе.

**Статическая настройка** осуществляется с помощью встроенных в станок цифровых отсчетных устройств в виде лимбов, шкал, нониусов и др. При настройке наладчик перемещает рабочий орган и одновременно визуально контролирует величину перемещения по счетному устройству. В станках, не имеющих встроенных счетных устройств, статическая настройка может выполняться с использованием индикаторных стоек, микрометров.

Статическая настройка выполняется также по шаблону, имеющему точный профиль (точность его размеров на один квалитет выше заданного на чертеже) и изготовленному из легкого металла или древеснослоистого пластика, или из древесины твердой породы.

**Настройка станка методом пробных деталей** производится в несколько этапов. Сначала выполняется грубая статическая настройка с погрешностью  $\pm 0,5$  мм. Затем обрабатывается несколько пробных деталей и определяется средний фактический размер обработанных деталей. При сравнении заданного настраиваемого и фактического среднего размеров определяется величина коррекции, равная разности сравниваемых размеров. Затем на величину коррекции рабочий орган станка перемещается.

Основная трудность этого метода заключается в определении значения настраиваемого размера, нахождении величины коррекции поднастройки и в точности выполнения поднастроечного перемещения.

**Настройка по компьютерной программе.** В последние годы на деревообрабатывающих предприятиях быстро внедряются станки с ЧПУ и обрабатывающие центры (многооперационные позиционные станки с системой ЧПУ).

Применение технологии ЧПУ повышает точность изготовления детали, повышает надежность оборудования. Это означает, что однажды отлаженная управляющая программа может

быть использована на станке с ЧПУ для производства двух, десяти или тысячи абсолютно идентичных деталей, причем при полном соблюдении требований к точности и взаимозаменяемости.

Станки с ЧПУ отличаются гибкостью, т.е. простотой переналадки на другой технологический режим работы, и простотой настройки. Это означает, что изготовление разных деталей на станке сводится к простой замене управляющей программы. Ранее проверенная управляющая программа может быть использована любое число раз и через любые промежутки времени.

#### 4.3.2. Определение начального центра настройки

При эксплуатации деревообрабатывающих станков общего назначения наиболее широко используется способ размерной настройки с обработкой пробных деталей. Порядок настройки включает два этапа: определение начального центра настройки и установку полученного размера на станке.

Перед настройкой должны быть известны начальное поле рассеивания размера на станке, значения коэффициентов  $C_1$  и  $C_2$ , имеющие размерность мм/ч, и чертеж обрабатываемой детали с размерами и их предельными отклонениями.

Поле допуска  $T$  настраиваемого размера детали равно разности верхнего  $es$  и нижнего  $is$  предельных отклонений:

$$T = es - is. \quad (39)$$

Деревообрабатывающий станок, находящийся в эксплуатации, изнашивается и точность его понижается. Перед настройкой станка следует, используя метод выборок, определить среднее квадратическое отклонение  $S$ . Тогда начальное поле рассеяния размеров  $\omega_n = 6 S$ .

**Погрешности настройки.** При настройке все операции выполняются с погрешностями, которые могут быть учтены дополнительными полями рассеяния размеров, возникающими при определении центра группирования размеров  $\bar{x}$  по  $n$  пробным деталям, при измерении размеров пробных деталей, при выполнении коррекции.

Количество пробных деталей  $m$  обычно принимают от 3 до 9 штук. При таком небольшом объеме выборки неизбежна погрешность

$$\omega_m = \frac{\omega_u}{m}. \quad (40)$$

Общая погрешность метода измерения размеров деталей от допускаемых отклонений измеряемой величины должна быть не более 20% (ГОСТ 25338-91):

$$\omega_u = 0,2\omega_n. \quad (41)$$

Для выполнения корректирующего (поднастроечного) перемещения рабочего органа станка приходится применять измерительные инструменты с ценой деления  $\text{ЦД} \leq 0,2\omega_{nep}$ . Обычно используют лимб с  $\text{ЦД}=0,05$  мм, упор микрометрический с  $\text{ЦД}=0,05$  мм, упор индикаторный с  $\text{ЦД}=0,01$  мм. Рассеяние погрешности перемещения

$$\omega_{nep} = 0,2\text{ЦД}. \quad (42)$$

Суммарное поле рассеяния размера в начале обработки партии деталей, мм

$$\omega_1^{\Sigma} = \sqrt{\omega_n + \omega_m + \omega_u + \omega_{nep}}. \quad (43)$$

**Показатель рассеяния.** Для работы станка без брака необходимо, чтобы допуск на размер был больше начального рассеяния погрешностей:  $T > \omega_1^{\Sigma}$ . В связи с тем, что возможно изменение стабильности процесса обработки деталей, необходимо, чтобы суммарное поле рассеяния размера  $\omega_1^{\Sigma}$  равнялось хотя бы  $0,9T$ . Это требование характеризуется **показателем рассеяния** (ГОСТ 16467-70):

$$K_p = \frac{\omega_1^{\Sigma}}{T}. \quad (44)$$

Необходимое условие для настройки:  $K_p < 1$ , при хороших условиях  $K_p \leq 0,9$ . При  $K_p \geq 1$  работа станка без брака невозможна, поэтому определение и оценка значения показателя рассеяния при настройке обязательно.

**Начальный центр настройки**  $X_n$  определяется с учетом границ поля допуска настраиваемого размера и величины коэффициента смещения центра настройки  $C_1$  (рис. 35):

$$\begin{aligned} \text{при } C_1 > 0 \quad X_n &= d + ei + \frac{\omega_1^\Sigma}{2}, \\ \text{при } C_1 < 0 \quad X_n &= d + es + \frac{\omega_1^\Sigma}{2}, \\ \text{при } C_1 = 0 \quad X_n &= d + \frac{es + ei}{2}, \end{aligned} \quad (45)$$

где  $d$  – номинальный размер, мм;

$es, ei$  – соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения размера, мм.

Таким образом, станок следует настраивать на размер  $X_n$ .

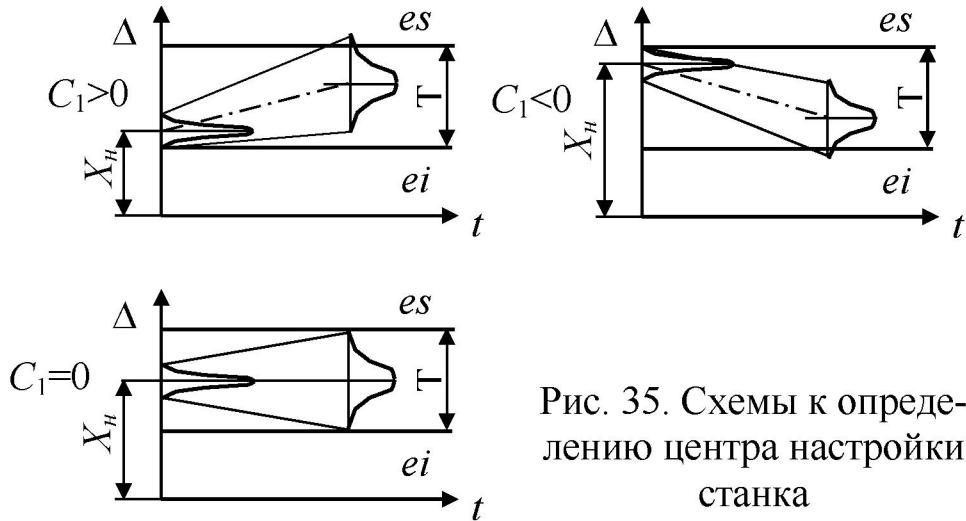


Рис. 35. Схемы к определению центра настройки станка

**Поднастройка станка.** При нестабильности процесса обработки деталей на станке коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$  оба или один из них могут изменяться. В результате этого величина значения центра настройки тоже изменяется (увеличивается или уменьшается). Это изменение возможно на величину запаса точности  $\delta_3$ , созданного в начале настройки:

$$\delta_3 = T - \omega_1^\Sigma. \quad (46)$$

Скорость смещения центра настройки при нестабильности процесса обработки равна, мм/ч:

$$C = C_1 + C_2 / 2. \quad (47)$$

Период поднастройки, ч:

$$t_n = \frac{\delta_3}{C}. \quad (48)$$

Таким образом, через каждые  $t_n$  часов технологическую систему надо возвращать в исходное состояние. Станок надо поднастроить снова на величину  $X_n$ , иначе размеры деталей выйдут за пределы допуска. Для этого снова надо образовать выборку с объемом  $m$  обработанных деталей и найти среднее выборочное контролируемого размера

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^m x_i / m.$$

Величина поднастройки, мм:

$$\Delta = X_n - \bar{x}.$$

### ***Контрольные вопросы и задания***

1. Сформулируйте определение стабильности технологического процесса.
2. Поясните содержание метода определения технологической стабильности.
3. Изобразите график изменения погрешностей при обработке партии деталей.
4. Какая закономерность изменения коэффициентов  $C_1$  и  $C_2$ ?
5. Наладка и настройка станка. Поясните в чем разница этих технологических операций?
6. Поясните содержание различных видов размерной настройки станков.
7. Как определить размер, на который должен настраиваться станок?
8. Начертите схемы размещения настраиваемого размера в пределах поля допуска детали.

## 4.4. Примеры решения практических задач

### 4.4.1. Определение класса точности станка

Класс точности станка определяется путем исследования выборки, взятой из генеральной совокупности при обработке партии деталей. Для образования выборки обследуют не менее 50 обработанных деталей. При этом контролируемый размер измеряют в трех местах длинной детали: посередине и в 20...50 мм от торцов. Перед измерениями на каждой детали размечают места измерений. Данные измерений заносят в протокол.

Все измеренные значения размера  $X$  графически можно отложить на отрезке  $[a, b]$ , заключенном между граничными значениями  $X_{\max}$   $X_{\min}$ . Разобьем этот отрезок на  $N$  равных интервалов ( $N \geq 10$ ). Величина интервала, мм

$$K = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{N}.$$

Найдя середины интервалов и сосчитав, сколько раз они встретились в выборке, установим распределение частот в выборке. При статистической обработке материалов наблюдений находит среднее выборочное, среднее квадратическое отклонение и допуск квалитета.

Центр группирования размеров партии деталей (среднее арифметическое значение):

$$\bar{x}_e = \frac{\sum_{i=1}^N x_i n_i}{n},$$

где  $x_i$  - среднее значение интервала;

$n_i$  - частота (число размеров деталей в интервале);

$n$  - количество измерений размеров в совокупности.

Среднее квадратичное отклонение выборочное определяется по формуле:

$$s_e = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 n_i}{n - 1}}.$$

Поле рассеяния размеров партии деталей, обработанных на станке, может быть найдено по формуле:

$$\omega = 6s_e.$$

С учетом погрешности на размерную настройку станка допуск квалитета будет:

$$ITq = 6,6 s_e.$$

Номер квалитета по заданному размеру детали находится по приложению А.

Класс точности станка устанавливается в зависимости от квалитета, по которому могут быть обработаны детали на этом станке. Пример обработки выборки при определении класса точности станка приведен в табл. 6.

Таблица 6

Пример протокола статистической обработки результатов измерений

№ интервалов	Границы интервалов, мм	Середина интервала $x_i$ , мм	Частота $n_i$ , шт	$x_i n_i$	$x_i - \bar{X}$	$(x_i - \bar{X})^2$	$(x_i - \bar{X})^2 n_i$
1	31,80-	31,82	6	190,9	-	0,034	0,2091
	31,84			2	0,1866	8	
2	31,85-31,88	31,86	7	223,0	-	0,021	0,1506
				2	0,1466	5	
3	31,89-	31,90	9	287,1	-	0,011	0,1024
	31,92				0,1066	4	
4	31,93-	31,94	15	479,1	-	0,004	0,0667
	31,96				0,0666	4	
5	31,97-	31,98	27	863,4	-	0,000	0,0192

	32,00			6	0,0266	7	
6	32,01-	32,02	35	1120,	0,0133	0,000	0,0062
	32,04			7		2	
7	32,05-	32,06	28	897,6	0,0533	0,002	0,0796
	32,08			8		8	
8	32,09-	32,10	10	321,0	0,0933	0,008	0,0871
	32,12					7	
9	32,13-	32,14	8	257,1	0,1333	0,017	0,1422
	32,16			2		8	
10	32,17-	32,18	5	160,9	0,1733	0,030	0,1502
	32,20					0	

Итого:  $15 \quad 4801 \quad 1,0133$   
0

$$K = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{N} = \frac{32,20 - 31,80}{150} = 0,04 \text{ мм.}$$

$$\bar{x}_e = \frac{\sum_{i=1}^N x_i n_i}{n} = \frac{4801}{150} = 32,0 \text{ мм.}$$

$$s_e = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 n_i}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{1,0133}{150-1}} = 0,082 \text{ мм.}$$

$$ITq = 6,6 \cdot s_e = 6,6 \cdot 0,082 = 0,5442 \text{ мм}$$

По таблице прил. 1 находим, что для размера 32 мм поле допуска 0,5442 мм соответствует квалитету №14. Класс точности станка П.

#### 4.4.2. Построение нормальной кривой по опытным данным

Ниже приведен один из способов построения кривой нормального распределения, выполняемый в следующем порядке:

- для заданного распределения частот находят выборочные значения  $\bar{x}_e$ ,  $s_e$ ;
- находят разность  $x_i - \bar{x}_e$ ;
- по таблице приложения Б определяют значение функции нормального распределения  $\varphi(u_i)$ ;

– находят ординаты  $y_i$  (выравнивающие частоты) теоретической кривой по формуле

$$y_i = \frac{nh}{s_e} \varphi(u_i),$$

где  $n$  – сумма наблюдаемых частот;

$h$  – разность между двумя соседними вариантами (величина интервала  $K$ ).

Ниже рассмотрен пример расчета выравнивающих частот (табл. 7), взятых из предыдущего параграфа.

Известно:  $\bar{x}_e = 32,0$  мм;  $s_e = 0,082$  мм.

Выравнивающие частоты

$$y_i = \frac{nh}{s_e} \varphi(u_i) = \frac{150 \cdot 0,04}{0,082} \varphi(u_i) = 73,17 \varphi(u_i).$$

На рис. 36 построены нормальная (теоретическая) кривая по выравнивающим частотам (они отмечены кружками) и полигон наблюдаемых частот (они отмечены крестиками). Сравнение графиков наглядно показывает, что построенная теоретическая кривая удовлетворительно отражает данные наблюдений.

Таблица 7

Вычисление выравнивающих частот

Середина интервала $x_i$ , мм	Частота $n_i$ , шт.	$x_i - \bar{x}_e$	$u_i = \frac{x_i - \bar{x}_e}{s_e}$	$\varphi(u_i)$	$y_i = \frac{nh}{s_e} \varphi(u_i) = 73,17 \varphi(u_i)$
31,82	6	-0,1866	-2,28	0,029 7	2,2
31,86	7	-0,1466	-1,79	0,080 4	5,9
31,90	9	-0,1066	-1,30	0,171 4	12,5
31,94	15	-0,0666	-0,81	0,287 4	21,0
31,98	27	-0,0266	-0,32	0,379 0	27,7
32,02	35	0,0133	0,16	0,393	28,8

32,06	28	0,0533	0,65	9 0 3 7 2	0,323 0,208 0,105 0,043	23,6 15,2 7,7 3,2
32,10	10	0,0933	1,14			
32,14	8	0,1333	1,63			
32,18	5	0,1733	2,11			

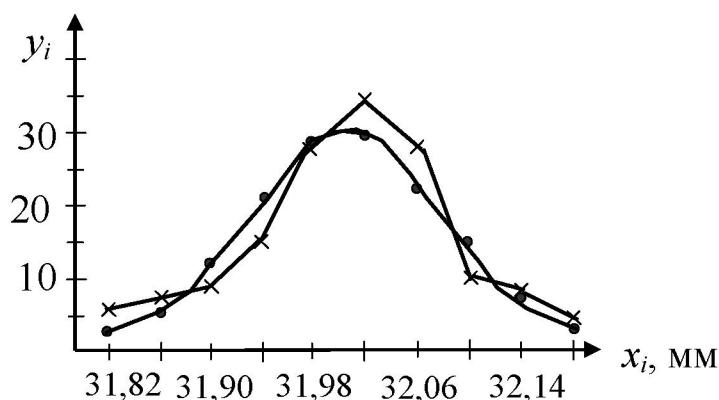


Рис. 36. Теоретическая кривая и полигон наблюдаемых частот

#### 4.4.3. Определение настроенности станка при известной его точности

Пусть случайная величина толщины древесностружечных плит  $X$ , обрабатываемых на калибровальном шлифовальном станке, имеет нормальное распределение. Выборка объемом  $n = 50$ , извлеченная из генеральной совокупности, имеет следующее распределение частот:

$x_i, \text{мм}$	15,5	15,7	16,9	16,1
$n_i$	10	18	12	10

Точность станка, определяемая среднеквадратическим отклонением, задана и равна  $\sigma_o = 0,3 \text{ мм}$ .

*Определить* настроенность станка при обработке плит по

толщине, если толщина деталей по чертежу равна  $16I_s14$  ( $16 \pm 0,215$  мм).

Настроенность станка определяют по центру настройки  $\bar{x}$ , равному математическому ожиданию [12]. Возможны оценки в виде точечного значения  $\hat{\mu}$  или в виде интервала, который с известной степенью доверия (доверительной вероятностью) включает неизвестное значение  $\mu$ .

Интервал может быть:

- двусторонним, если необходима уверенность с заданной доверительной вероятностью, в каких пределах может лежать  $\mu$ ;
- односторонним с верхней границей, если необходима уверенность, что  $\mu$  не выше какого-то значения;
- односторонним с нижней границей, если необходима уверенность, что  $\mu$  не ниже какого-то значения.

Для решения задачи используют квантили. Для непрерывной случайной величины квантили – это такие границы, которые делят всю вероятность на четыре равные части. Различают три квантили: левую ( $Q_1=1/4$ ), центральную ( $Q_2=1/2$ ) и правую ( $Q_3=1/4$ ).

**Решение.** Принимаем доверительную вероятность (надежность) оценки (уровень значимости)  $1 - \alpha = 0,95$ .

1. Квантиль стандартного нормального закона распределения уровня ( $1 - \alpha$ ) по приложению B:

$$U_{1-\alpha} = 0,14 + 1,5 = 1,64.$$

2. Квантиль стандартного нормального закона распределения уровня ( $1 - \alpha/2$ ). Если  $1 - \alpha = 0,95$ , то  $\alpha = 0,05$ ,  $\alpha/2 = 0,025$ ,  $1 - \alpha/2 = 0,975$  и квантиль уровня ( $1 - \alpha/2$ ) по приложению B:

$$U_{1-\alpha/2} = 0,46 + 1,5 = 1,96.$$

3. Находим общую выборочную среднюю:

$$\bar{x} = \frac{15,5 \cdot 10 + 15,7 \cdot 18 + 16,9 \cdot 12 + 16,1 \cdot 10}{10 + 18 + 12 + 10} = \frac{800,4}{50} = 16,008 \text{ мм.}$$

4. Вычисляем коэффициенты

$$K_1 = \frac{U_{1-\alpha}}{\sqrt{n}} = \frac{1,64}{\sqrt{50}} = 0,232 \text{ мм},$$

$$K_2 = \frac{U_{1-\alpha/2}}{\sqrt{n}} = \frac{1,96}{\sqrt{50}} = 0,277 \text{ мм.}$$

5. Результаты оценки настроенности станка.

5.1. Точечная оценка параметра  $\mu$ :  $\hat{\mu} = \bar{x} = 16,008$  мм.

5.2. Двусторонний симметричный доверительный интервал для  $\mu$ :

$$\bar{x} - K_2 \sigma_o \leq \mu \leq \bar{x} + K_2 \sigma_o,$$

$$16,008 - 0,277 \cdot 0,3 \leq \mu \leq 16,008 + 0,277 \cdot 0,3,$$

$$16,008 - 0,083 \leq \mu \leq 16,008 + 0,083, \quad 15,925 \leq \mu \leq 16,091.$$

5.3. Односторонние доверительные интервалы для  $\mu$ :

$$\mu \leq \bar{x} + K_1 \sigma_o, \quad \mu \leq 16,008 + 0,232 \cdot 0,3,$$

$$\mu \leq 16,008 \text{мм} + 0,069 \text{мм} \text{ или } \mu \geq 16,008 \text{мм} - 0,069 \text{мм}.$$

$$\mu \leq 16,077 \text{мм} \text{ или } \mu \geq 15,938 \text{мм}.$$

**Вывод.** Сравнивая заданный размер детали  $16 \pm 0,215$  мм ( $16,215 \dots 15,785$ ) мм с границами расчетных доверительных интервалов, убеждаемся, что размеры толщины деталей укладываются в пределах поля допуска. Станок настроен правильно.

#### *4.4.4. Оценка среднего значения при неизвестной точности станка*

Случайная величина толщины древесностружечных плит  $X$ , обработанных на калибровальном шлифовальном станке, имеет нормальное распределение. Выборка объемом  $n = 50$ , извлеченная из генеральной совокупности, имеет следующее распределение частот:

$x_i$ , мм	15,5	15,7	16,9	16,1
$n_i$	7	22	16	5

**Определить** настроенность станка при обработке плит по толщине, если толщина деталей по чертежу равна  $16I_s14$  ( $16 \pm 0,215$  мм).

**Решение.** Принимаем доверительную вероятность (надежность) оценки (уровень значимости)  $1 - \alpha = 0,99$ . При

$\alpha = 0,01$ ,  $\alpha/2 = 0,005$  уровень значимости  $(1 - \alpha/2) = 0,995$ . Степени свободы  $v = n - 1 = 50 - 1 = 49$ .

1. По приложению  $\Gamma$  определяем квантиль распределения Стьюдента уровня  $(1 - \alpha)$  со степенями свободы  $v = 49$ :  $t_{(1-\alpha)}(v) = 2,4$ . Промежуточные значения квантилей находят методом интерполяции.

2. Определяем квантиль распределения Стьюдента уровня  $(1 - \alpha/2)$  со степенями свободы  $v = 49$ :  $t_{(1-\alpha/2)}(v) = 2,68$ .

3. Находим выборочную среднюю:

$$\bar{x} = \frac{15,5 \cdot 7 + 15,7 \cdot 22 + 16,9 \cdot 16 + 16,1 \cdot 5}{7 + 22 + 16 + 5} = \frac{788,8}{50} = 15,78 \text{ мм.}$$

4. Выразим изменение случайной величины  $X$  через вероятности  $p$ :

$x_i$ , мм	15,5	15,7	16,9	16,1	
$n_i$	7	22	16	5	$\sum n_i = 50$
$p$	7/50	22/50	16/50	5/50	$\sum p = 1$

4. Вычисляем дисперсию по формуле

$$D(X) = M[X - M(X)]^2.$$

Находим возможные квадраты отклонения:

$$[x_1 - M(X)]^2 = (15,5 - 15,78)^2 = 0,0784;$$

$$[x_2 - M(X)]^2 = (15,7 - 15,78)^2 = 0,0064;$$

$$[x_3 - M(X)]^2 = (15,9 - 15,78)^2 = 0,0144;$$

$$[x_4 - M(X)]^2 = (16,1 - 15,78)^2 = 0,1024.$$

Напишем закон распределения квадрата отклонения:

$[x_1 - M(X)]^2$	0,0784	0,0064	0,0144	0,1024
$p$	7/50	22/50	16/50	5/50

Находим дисперсию, равную математическому ожиданию квадрата отклонения:

$$D(X) = 0,0784 \cdot 7/50 + 0,0064 \cdot 22/50 + 0,0144 \cdot 16/50 + 0,1024 \cdot 5/50 \\ = 0,029 \text{ мм}^2.$$

5. Определяем среднее квадратическое отклонение

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)} = \sqrt{0,02864} = 0,17 \text{ мм.}$$

6. Находим поправки

$$l_1 = \frac{t_{1-\alpha}(v)}{\sqrt{n}} = \frac{2,4}{\sqrt{50}} = 0,339,$$

$$l_2 = \frac{t_{(1-\alpha/2)}(v)}{\sqrt{n}} = \frac{2,68}{\sqrt{50}} = 0,379.$$

7. Результаты:

– точечная оценка параметра математического ожидания  $\mu$ :

$$\hat{\mu} = \bar{x} = 15,78 \text{ мм};$$

– точечная оценка параметра  $D$ :

$$D = S^2 = 0,029 \text{ мм}^2;$$

– двусторонний симметричный доверительный интервал для параметра  $\mu$ :

$$\bar{x} - l_2 S \leq \mu \leq \bar{x} + l_2 S,$$

$$15,78 - 0,379 \cdot 0,17 \leq \mu \leq 15,78 + 0,379 \cdot 0,17,$$

$$15,78 - 0,06 \leq \mu \leq 15,78 + 0,06 \text{ мм}, \quad 15,72 \leq \mu \leq 15,84 \text{ мм}.$$

– односторонние доверительные интервалы для параметра  $\mu$ :

$$\mu \leq \bar{x} + l_1 S, \quad \mu \leq 15,78 + 0,339 \cdot 0,17,$$

$$\mu \leq 15,78 + 0,057 \text{ мм}, \quad \mu \leq 15,837 \text{ мм}$$

или

$$\mu \geq \bar{x} - l_1 S, \quad \mu \geq 15,78 - 0,339 \cdot 0,17,$$

$$\mu \geq 15,78 - 0,057 \text{ мм}, \quad \mu \geq 15,723 \text{ мм}.$$

**Вывод.** Сравнивая заданный размер детали по чертежу  $16 \pm 0,215$  мм ( $16,215 \dots 15,785$ ) мм с расчетными границами доверительных интервалов, отмечаем, что фактические размеры расположены вблизи от нижнего предельного отклонения и нижняя граница одностороннего доверительного интервала выходит за пределы поля допуска. Станок настроен неправильно. Необходимо выполнить его поднастройку.

#### 4.4.5. Проверка правильности настройки станка на настроочный размер при известной точности

На деревообрабатывающем станке обрабатывается деталь с одним из размеров  $15^{+0,27}$  мм. Поле допуска равно 0,27 мм, поле рассеяния размеров на станке 12-го квалитета точности  $\omega = 6\sigma = 0,18$  мм. Среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 0,03$  мм. Начальный центр настройки станка при настройке по нижнему предельному отклонению

$$x_n = \mu_0 = d + ei + \frac{\omega}{2},$$

где  $d$  – номинальный размер, мм;

$ei$  – нижнее предельное отклонение размера, мм;

$\mu_0$  – заданное значение размера, мм.

$$x_n = \mu_0 = 15 + (-0,27) + \frac{0,18}{2} = 14,82 \text{ мм.}$$

Из генеральной совокупности извлечена выборка размеров обработанных деталей объемом  $n = 30$ . Распределение частот выборки:

$x_i$	14,82	14,84	14,86	14,88	14,90
$n_i$	3	6	10	7	4

**Сравнить** неизвестное среднее значение с заданным значением  $\mu_0$  при известной дисперсии  $D = \sigma^2$ , и **доказать**, что математическое ожидание всей генеральной совокупности будет не меньше настроочного размера.

**Решение.** 1. Принимаем значение уровня значимости  $\alpha = 0,01$  и определяем доверительную вероятность (надежность) оценки  $p = 1 - \alpha = 0,99$ . При уровне значимости  $\alpha/2 = 0,005$  доверительная вероятность  $p = (1 - \alpha/2) = 0,995$ .

2. По таблице значений функции стандартного нормального закона распределения принимается квантиль уровней  $(1 - \alpha)$  и  $(1 - \alpha/2)$ . Значение квантили  $U_{(1-\alpha)}$  уровня  $(1 - \alpha)$  находят как значение аргумента  $U$ , соответствующего значению функции  $\Phi(u) = 1 - \alpha$ :

$$U_{(1-\alpha)} = 2,0 + 0,33 = 2,33;$$

$$U_{(1-\alpha/2)} = 2,5 + 0,08 = 2,58.$$

3. Находим среднее выборочное значение

$$\bar{x} = \frac{14,82 \cdot 3 + 14,84 \cdot 6 + 14,86 \cdot 10 + 14,88 \cdot 7 + 14,90 \cdot 4}{3 + 6 + 10 + 7 + 4} = 14,862$$

мм.

## Результаты

Сравнение выборочного среднего значения  $\bar{x}$  с заданным значением  $\mu_0$ :

1. В двустороннем случае: предположение равенства выборочного среднего и заданного значений (нулевая гипотеза) отклоняется, если  $|\bar{x} - \mu_0| > [u_{1-\alpha/2} / \sqrt{n}] \sigma_0$ ;

$$|14,862 - 14,82| > [2,58 / \sqrt{30}] 0,03; \quad |0,042| > 0,014,$$

таким образом, предположение равенства  $\bar{x}$  и  $\mu_0$  отклоняется.

2 В одностороннем случае:

– предположение о том, что выборочное среднее не менее чем  $\mu_0$  (нулевая гипотеза) отклоняется, если

$$\bar{x} < \mu_0 - [u_{1-\alpha} / \sqrt{n}] \sigma_0; \quad 14,862 < 14,82 - [2,58 / \sqrt{30}] 0,03;$$

$$14,862 < 14,79, \text{ не отклоняется};$$

– предположение о том, что выборочное среднее не более чем  $\mu_0$  (нулевая гипотеза) отклоняется, если

$$\bar{x} < \mu_0 + [u_{1-\alpha} / \sqrt{n}] \sigma_0; \quad 14,862 < 14,82 + [2,58 / \sqrt{30}] 0,03;$$

$$14,862 > 14,79, \text{ отклоняется}.$$

Таким образом, на основании выборки доказано, что математическое ожидание генеральной совокупности контролируемого размера не меньше настроечного размера.

### 4.4.6. Проверка правильности настройки станка на настроечный размер при неизвестной точности

На деревообрабатывающем станке обрабатывается деталь с одним из размеров  $15^{+0,27}$  мм. Точность станка и среднее квадратическое отклонение не известны. Станок настроен с начальным центром настройки  $x_n = \mu_0 = 14,82$  мм.

Из генеральной совокупности извлечена выборка размеров обработанных деталей объемом  $n = 30$ . Распределение частот выборки:

$x_i$	14,82	14,84	14,86	14,88	14,90
$n_i$	3	6	10	7	4

**Сравнить** неизвестное среднее значение с заданным значением  $\mu_0$  при неизвестной дисперсии  $D = \sigma^2$ , и **доказать**, что математическое ожидание всей генеральной совокупности будет не меньше настроичного размера.

**Решение.** 1. Принимаем значение уровня значимости  $\alpha = 0,01$  и определяем доверительную вероятность (надежность) оценки  $p = 1 - \alpha = 0,99$ . При уровне значимости  $\alpha/2 = 0,005$  доверительная вероятность  $p = (1 - \alpha/2) = 0,995$ .

2. Степени свободы  $v = n - 1 = 30 - 1 = 29$ .

3. Квантиль распределения Стьюдента уровня  $(1 - \alpha)$  с  $v$  степенями свободы (берется по таблице прил. Г):

$$t_{1-\alpha}(v) = 2,462 .$$

4. Квантиль распределения Стьюдента уровня  $(1 - \alpha/2)$  с  $v$  степенями свободы (берется по таблице прил. Г):

$$t_{1-\alpha/2}(v) = 2,756 .$$

5. Находим среднее выборочное значение

$$\bar{x} = \frac{14,82 \cdot 3 + 14,84 \cdot 6 + 14,86 \cdot 10 + 14,88 \cdot 7 + 14,90 \cdot 4}{3 + 6 + 10 + 7 + 4} = 14,862$$

мм.

6. Находим дисперсию по формуле

$$D = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{\sum x^2 - (\sum x)^2 / n}{n - 1} .$$

$$D = \frac{(14,82 - 14,862)^2 \cdot 3 + (14,84 - 14,862)^2 \cdot 6 + (14,86 - 14,862)^2 \cdot 10}{29} +$$

$$+ \frac{(14,88 - 14,862)^2 \cdot 7 + (14,90 - 14,862)^2 \cdot 4}{29} = 0,00056 \text{мм}^2 .$$

7. Среднее квадратическое отклонение выборки

$$S = \sqrt{D} = 0,0237 \text{ мм.}$$

## 8. Результаты

Сравнение выборочного среднего значения  $\bar{x}$  с заданным значением  $\mu_0$ :

1. В двустороннем случае: предположение равенства выборочного среднего и заданного значений (нулевая гипотеза) отклоняется, если

$$|\bar{x} - \mu_0| > [t_{1-\alpha/2} / \sqrt{n}]S;$$

$$|14,862 - 14,82| > [2,756 / \sqrt{30}]0,0237;$$

$0,042 > 0,011925$ ; предположение равенства значений отклоняется.

2. В одностороннем случае:

– предположение о том, что выборочное среднее не менее чем  $\mu_0$  (нулевая гипотеза) отклоняется, если

$$\bar{x} < \mu_0 - [t_{1-\alpha}(v) / \sqrt{n}]S;$$

$$14,862 < 14,82 - [2,462 / \sqrt{30}]0,0237$$

$14,862 < 0,010$ , не отклоняется;

– предположение о том, что выборочное среднее не более чем  $\mu_0$  (нулевая гипотеза) отклоняется, если

$$\bar{x} > \mu_0 + [t_{1-\alpha}(v) / \sqrt{n}]S$$

$$14,862 > 14,82 + 0,010; 14,862 > 14,79, \text{ отклоняется.}$$

Таким образом, на основании выборки доказано, что математическое ожидание генеральной совокупности контролируемого размера не меньше настроечного размера.

### 4.4.7. Проверка возможности обработки деталей на двух станках при известной их точности

Пусть на двух сверлильно-пазовальных станках параллельно в деталях обрабатывают пазы под шипы шириной  $14^{+0,27}$  мм. Точность каждого станка известна:  $\sigma_1 = 0,029$  мм и  $\sigma_2 = 0,031$  мм. Обработанные детали поступают на сборку, где допускается их смешивание.

**Определить.** Можно ли считать, что оба станка настроены одинаково? Можно ли смешивать детали, произведенные на этих двух станках?

**Решение.** 1. Делаем выборку размеров деталей, обработанных на станках 1:

$x_i$	14,05	14,10	14,15	14,20	14,25
$n_i$	3	6	10	7	4

Выборка размеров деталей объемом  $n = 30$ , обработанных на станке 2:

$x_i$	14,03	14,09	14,15	14,21	14,27
$n_i$	5	6	8	7	4

2. Принимаем значение уровня значимости  $\alpha = 0,01$  и определяем доверительную вероятность (надежность) оценки  $p = 1 - \alpha = 0,99$ . При уровне значимости  $\alpha/2 = 0,005$  доверительная вероятность  $p = (1 - \alpha/2) = 0,995$ .

3. По таблице значений функции стандартного нормального закона распределения (таблица прил. В) берем квантиль уровней  $(1 - \alpha)$  и  $(1 - \alpha/2)$ . Значение квантили  $U_{(1-\alpha)}$  уровня  $(1 - \alpha)$  находят значение аргумента  $U$ , соответствующего значению функции  $\Phi(u) = 1 - \alpha$ . Для  $1 - \alpha = 0,99$  ближайшее табличное значение равно 0,99010, соответствующее  $z = 2,33$ . Тогда аргумент функции

$$U_{(1-\alpha)} = 2,0 + 0,33 = 2,33;$$

$$U_{(1-\alpha/2)} = 2,5 + 0,08 = 2,58.$$

4. Находим среднее выборочное значение

$$\bar{x}_1 = \frac{14,05 \cdot 3 + 14,10 \cdot 6 + 14,15 \cdot 10 + 14,20 \cdot 7 + 14,25 \cdot 4}{3 + 6 + 10 + 7 + 4} = 14,15$$

5 мм;

$$\bar{x}_2 = \frac{14,03 \cdot 5 + 14,09 \cdot 6 + 14,15 \cdot 8 + 14,21 \cdot 7 + 14,27 \cdot 4}{5 + 6 + 8 + 7 + 4} = 14,148$$

мм.

5. Вычисляем общее среднеквадратическое отклонение

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} = \sqrt{\frac{0,029^2}{30} + \frac{0,031^2}{30}} = 0,0075 \text{ мм.}$$

## 6. Результаты

Проведем сравнение средних значений двух совокупностей.

6.1. В двустороннем случае: предположение равенства средних значений (нулевая гипотеза) отклоняется, если:

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| > u_{1-\alpha/2} \sigma_d;$$

$$|14,155 - 14,148| > 2,58 \cdot 0,0075;$$

$0,007 > 0,02$ ; предположение не отклоняется.

6.2. В одностороннем случае:

– предположение о том, что первое среднее не менее второго (нулевая гипотеза) отклоняется, если:

$$\bar{x}_1 < \bar{x}_2 - u_{1-\alpha} \sigma_d;$$

$$14,155 < 14,148 - 2,33 \cdot 0,0075;$$

$0,007 < 0,02$ ; предположение не отклоняется.

– предположение о том, что первое среднее не более второго (нулевая гипотеза) отклоняется, если:

$$\bar{x}_1 > \bar{x}_2 + u_{1-\alpha/2} \sigma_d;$$

$$14,155 > 14,148 + 2,33 \cdot 0,0075;$$

$0,007 > 0,02$ ; предположение не отклоняется.

Таким образом, на основании выборки доказано, что первое среднее не менее и не более второго среднего, т.е. первое и второе генеральные средние равны. Детали, получаемые на двух станках, перед сборкой могут быть перемешаны. Оба станка настроены на один размер.

### 4.4.8. Проверка возможности обработки деталей на двух станках при неизвестной их точности

На двух сверлильно-пазовых станках параллельно в деталях обрабатывают пазы под шипы шириной  $14^{+0,27}$  мм. Дисперсии генеральных совокупностей размеров деталей, взятых с обоих станков в отдельности, равны, но неизвестны. Обработан-

ные детали поступают на сборку, где допускается их смешивание.

**Определить.** Можно ли считать, что оба станка настроены одинаково? Можно ли смешивать детали, произведенные на этих двух станках?

*Решение.* 1. Делаем выборку размеров деталей, обработанных на станках на:

Выборка размеров деталей объемом  $n = 30$ , обработанных на станке 1:

$x_i$	14,05	14,10	14,15	14,20
$n_i$	3	10	12	5

$$\Sigma x_1 = 14,05 \cdot 3 + 14,10 \cdot 10 + 14,15 \cdot 12 + 14,20 \cdot 5 = 423,95.$$

$$\Sigma x_1^2 = 14,05^2 \cdot 3 + 14,10^2 \cdot 10 + 14,15^2 \cdot 12 + 14,20^2 \cdot 5 = 5991,178.$$

Выборка размеров деталей объемом  $n = 30$ , обработанных на станке 2:

$x_i$	14,03	14,09	14,15	14,21
$n_i$	5	8	10	7

$$\Sigma x_2 = 14,03 \cdot 5 + 14,09 \cdot 8 + 14,15 \cdot 10 + 14,21 \cdot 7 = 423,84.$$

$$\Sigma x_2^2 = 14,03^2 \cdot 5 + 14,09^2 \cdot 8 + 14,15^2 \cdot 10 + 14,21^2 \cdot 7 = 5988,123.$$

Средние выборочные значения:

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_1}{n_1} = \frac{423,95}{30} = 14,132 \text{ мм};$$

$$\bar{x}_2 = \frac{\sum x_2}{n_2} = \frac{423,84}{30} = 14,128 \text{ мм}.$$

2. Принимаем значение уровня значимости  $\alpha = 0,01$  и определяем доверительную вероятность (надежность) оценки  $p = 1 - \alpha = 0,99$ . При уровне значимости  $\alpha/2 = 0,005$  доверительная вероятность  $p = (1 - \alpha/2) = 0,995$ .

Степени свободы  $v = n_1 - 1 = 30 - 1 = 29$ .

3. Квантиль распределения Стьюдента уровня  $(1 - \alpha)$  с  $v$  степенями свободы берется по таблице прил. Г с использованием линейной интерполяции:

$$t_{1-\alpha}(v) = 2,462.$$

4. Квантиль распределения Стьюдента уровня  $(1 - \alpha/2)$  с  $v$  степенями свободы (берется по таблице):

$$t_{1-\alpha/2}(v) = 2,756.$$

5. Вычисляем

$$\begin{aligned} \sum(x_1 - \bar{x}_1)^2 + \sum(x_2 - \bar{x}_2)^2 &= \sum x_1^2 + \sum x_2^2 - \frac{1}{n_1}(\sum x_1)^2 - \frac{1}{n_2}(\sum x_2)^2 = \\ &= 423,95 + 423,84 - 5991,178/30 - 5988,123/30 = 448,48. \end{aligned}$$

Общее среднее квадратическое отклонение

$$\begin{aligned} S_d &= \sqrt{\frac{(n_1 + n_2)}{n_1 n_2} \cdot \frac{\sum(x_1 - \bar{x}_1)^2 + \sum(x_2 - \bar{x}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}} = \\ &= \sqrt{\frac{(30 + 30)}{30 \cdot 30} \cdot \frac{448,48}{30 + 30 - 2}} = 0,718 \text{ мм}. \end{aligned}$$

## 6. Результаты

Проведем сравнение средних значений двух совокупностей.

6.1. В двустороннем случае предположение о том, что средние  $\mu_1$  и  $\mu_2$  совпадают (нулевая гипотеза), отклоняется, если

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| > t_{1-\alpha/2} S_d;$$

$|14,132 - 14,128| > 2,756 \cdot 0,718$ ;  $0,004 > 1,979$ , предположение не отклоняется.

В одностороннем случае:

– предположение о том, что  $\mu_1 \geq \mu_2$  (нулевая гипотеза) отклоняется, если:

$$\bar{x}_1 < \bar{x}_2 - t_{1-\alpha}(v) S_d;$$

$14,132 < 14,128 - 2,462 \cdot 0,718$ ;  $14,132 < 12,36$ , предположение не отклоняется;

– предположение о том, что  $\mu_1 \leq \mu_2$  (нулевая гипотеза) отклоняется, если:

$$\bar{x}_1 > \bar{x}_2 + t_{1-\alpha}(v) S_d;$$

$14,132 > 14,128 + 2,462 \cdot 0,718$ ;  $14,132 > 15,89$ , предположение не отклоняется.

Таким образом, все предположения не отклоняются и все они указывают на равенство средних значений двух совокупностей. Оба станка настроены одинаково. Получаемые детали перед сборкой можно смешивать.

## **Заключение**

Технологическая точность деревообрабатывающего станка характеризуется фактическими погрешностями размеров и формы обработанных на станке деталей в сравнении с размерами и формой, заданными на чертеже. Получаемые на станке размеры деталей зависят от многих факторов, таких как:

- геометрических погрешностей станка, инструмента, приспособлений;
- погрешностей настройки;
- жесткости упругой технической системы "станок";
- неоднородности свойств древесины;
- нестабильности режима обработки;
- человеческого фактора: умений, навыков, утомленности станочника, его психологического состояния;
- состояния окружающей среды и др.

Все эти факторы действуют одновременно, зависят друг от друга и формируют конечный размер детали, обрабатываемой на станке. В связи с этим процесс размерообразования при анализе рассматривается системно. Процесс образования на станке размеров и формы деталей соответствует состоянию технологической системы. Эта система динамичная, постоянно меняющая свое состояние во времени. Образующиеся размеры деталей носят случайный характер, поэтому систему называют еще вероятностной. Для исследования таких систем используют методы теории вероятности и математической статистики.

Математические методы позволяют по параметрам небольшой выборки с заданной точностью судить о параметрах генеральной совокупности. Они позволяют определить тенденцию изменения точности обработки деталей на станке и установить момент, когда фактический размер детали может выйти за пределы поля допуска. Знание этого момента времени дает возможность управлять процессом обработки деталей.

Таким образом, изучение математических методов в приложении к управлению точностью процесса обработки деталей позволяет улучшить качество продукции.

Важное место в книге занимает материал для изучения методов определения точности станков. С использованием действующих стандартов в книге описаны методы определения плоскостности, прямолинейности, параллельности, перпендикулярности, биения валов и др. Здесь же приведены допускаемые нормы точности. Читатель имеет возможность научиться, а при выполнении лабораторных работ получить умения и навыки по исследованию точности станков. Для правильного проектирования и наладки станков такие методы надо знать.

Приведенные примеры решения практических задач дают возможность правильно оценить техническое состояние станка, его класс точности, коэффициенты технологической стабильности, правильность выполнения размерной настройки станка. В книге приведен достаточный материал для определения причин образования погрешностей размеров деталей, а также выявления основных факторов, влияющих на погрешности.

## **Библиографический список**

1. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]./ В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк.,2004. – 479 с.
2. Колемаев В.А. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]./ В.А.Колемаев, В.Н. Калинина. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 302 с.
3. ГОСТ 16467-70. Статистические показатели точности и стабильности технологических операций [Текст]. – М.: Изд. Стандартов, 1973. – 21 с.
4. Гоберман В.А. Технология научных исследований – методы, модели, оценки [Текст]. / В.А. Гоберман, Л.А. Гоберман. – М.: МГУЛ, 2002. – 390 с.
5. Глудкин О.П. Всеобщее управление качеством [Текст] / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 600 с.
6. Белкин И.М. Допуски и посадки (Основы взаимозаменяемости) [Текст]./ И.М. Белкин. – М.: Машиностроение, 1992. – 528 с.
7. Манжос Ф.М. Точность механической обработки древесины [Текст]./ Ф.М. Манжос. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1959. – 265 с.
8. Проников А.С. Надежность машин [Текст]./А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
9. Амалицкий В.В. Монтаж и эксплуатация деревообрабатывающего оборудования [Текст]./ В.В. Амалицкий. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 400 с.
10. Коротков В.И. Наладка и испытание деревообрабатывающих автоматических линий [Текст]./ В.И.Коротков, В.Н.Рожин, В.И. Белов. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 176 с.
11. Амалицкий В.В. Теория и конструкции деревообрабатывающих машин [Текст]./ В.В. Амалицкий, Л.Г. Кутуков, Б.В. Зимин. – М.: МЛТИ, 1982. – 83 с.
12. ГОСТ Р 50779.21-2004 Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным [Текст].

## Приложения

### Приложение A

Значения допусков линейных размеров изделий  
из древесины в мм по ГОСТ 6449.1-82

Интервал размеров	Квалитет								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
До 3	-	-	0,10	0,14	0,25	0,40	0,60	1,00	1,4
Св. 3 до 6	-	-	0,12	0,18	0,30	0,48	0,75	1,20	1,8
Св. 6 до 10	-	-	0,15	0,22	0,36	0,58	0,90	1,5	2,2
Св. 10 до 18	-	-	0,18	0,27	0,43	0,70	1,10	1,80	2,7
Св. 18 до 30	-	-	0,21	0,33	0,52	0,84	1,30	2,10	3,3
Св. 30 до 50	-	-	0,25	0,39	0,62	1,00	1,60	2,50	3,9
Св. 50 до 80	-	0,19	0,30	0,46	0,74	1,20	1,90	3,00	4,6
Св. 80 до 120	-	0,22	0,35	0,54	0,87	1,40	2,20	3,50	5,4
Св. 120 до 180	-	0,25	0,40	0,63	1,00	1,60	2,50	4,00	6,3
Св. 180 до 250	-	0,29	0,46	0,72	1,15	1,85	2,90	4,60	7,2
Св. 250 до 315	-	0,32	0,52	0,81	1,30	2,10	3,20	5,20	8,1
Св. 315 до 400	-	0,36	0,57	0,89	1,40	2,30	3,60	5,70	8,9
Св. 400 до 500	-	0,40	0,63	0,97	1,55	2,50	4,00	6,30	9,7
Св. 500 до 630	-	0,44	0,70	1,10	1,75	2,80	4,40	7,00	-
Св. 630 до 800	-	0,50	0,80	1,25	2,00	3,20	5,00	8,00	-
Св. 800 до 1000	-	0,56	0,90	1,40	2,30	3,60	5,60	9,00	-
Св. 1000 до 1250	-	0,66	1,05	1,65	2,60	4,20	6,60	10,50	-
Св. 1250 до 1600	0,5	0,78	1,25	1,95	3,10	5,00	7,80	12,50	-
Св. 1600 до 2000	0,6	0,92	1,50	2,30	3,70	6,00	9,20	15,00	-
Св. 2000 до 2500	0,7	1,10	1,75	2,80	4,40	7,00	11,00	17,50	-
Св. 2500 до 3150	0,86	1,35	2,10	3,30	5,40	8,60	13,50	21,00	-
Св. 3150 до 4000	1,05	1,65	2,60	4,1	6,60	10,50	16,50	26,0	-
Св. 4000 до 5000	1,3	2,0	3,2	5,0	8,0	13,0	20,0	32,0	-
Св. 5000 до 6300	1,55	2,5	4,0	6,2	9,8	15,5	25,0	40,0	-
Св. 6300 до 8000	1,95	3,10	4,9	7,6	12,0	19,5	31,0	49,0	-
Св. 8000 до 10000	2,4	3,8	6,0	9,4	15,0	24,0	38,0	60,0	-

## Приложение B

Значения нормированного нормального распределения

$$(\mu = 0, \sigma = 1) \quad \varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,3989	3989	3989	3988	3986	3984	3982	3980	3977	3973
0,1	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0,2	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836	3825
0,3	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3726	3712	3697
0,4	3683	3668	3652	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0,5	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3352
0,6	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166	3144
0,7	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943	2920
0,8	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685
0,9	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1,0	0,2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1,1	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965
1,2	1942	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1781	1758	1736
1,3	1714	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518
1,4	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315
1,5	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1,6	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	0989	0973	0957
1,7	0940	0925	0909	0893	0878	0863	0848	0833	0818	0804
1,8	0790	0775	0761	0748	0734	0721	0707	0694	0681	0669
1,9	0656	0644	0632	0620	0608	0596	0584	0573	0562	0551
2,0	0,0540	0529	0519	0508	0498	0488	0478	0468	0459	0449
2,1	0440	0431	0422	0413	0404	0396	0387	0379	0371	0363
2,2	0355	0347	0339	0332	0325	0317	0310	0303	0297	0290
2,3	0283	0277	0270	0264	0258	0252	0246	0241	0235	0229
2,4	0224	0219	0213	0208	0203	0198	0194	0189	0184	0180
2,5	0175	0171	0167	0163	0158	0154	0151	0147	0143	0139
2,6	0136	0132	0129	0126	0122	0119	0116	0113	0110	0107
2,7	0104	0101	0099	0096	0093	0091	0088	0086	0084	0081
2,8	0079	0077	0075	0073	0071	0069	0067	0065	0063	0061
2,9	0060	0058	0056	0055	0053	0051	0050	0048	0047	0046

3,0	0,0044	0043	0042	0040	0039	0038	0037	0036	0035	0034
3,1	0033	0032	0031	0030	0029	0028	0027	0026	0025	0025
3,2	0024	0023	0022	0022	0021	0020	0020	0019	0018	0018
3,3	0017	0017	0016	0016	0015	0015	0014	0014	0013	0013

Окончание приложения B

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,4	0012	0012	0012	0011	0011	0010	0010	0010	0009	0009
3,5	0009	0008	0008	0008	0008	0007	0007	0007	0007	0006
3,6	0006	0006	0006	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0004
3,7	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0003	0003	0003	0003
3,8	0003	0003	0003	0003	0003	0002	0002	0002	0002	0002
3,9	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0001	0001

## Приложение B

Значения функции стандартного нормального закона  
распределения [12]

$z$	$\Phi(z)$	$\Phi(0,5+z)$	$\Phi(1,0+z)$	$\Phi(1,5+z)$	$\Phi(2,0+z)$	$\Phi(2,5+z)$	$\Phi(3,0+z)$
0,00	0,50000	0,69146	0,84134	0,93319	0,97725	0,99379	0,99865
0,01	0,50399	0,69497	0,84375	0,93448	0,97778	0,99396	0,99869
0,02	0,50798	0,69847	0,84614	0,93574	0,97831	0,99413	0,99874
0,03	0,51197	0,70194	0,84850	0,93699	0,97882	0,99430	0,99878
0,04	0,51595	0,70540	0,85083	0,93822	0,97932	0,99446	0,99882
0,05	0,51994	0,70884	0,85314	0,93943	0,97982	0,99461	0,99886
0,06	0,52392	0,71226	0,85543	0,94062	0,98030	0,99477	0,99889
0,07	0,52790	0,71566	0,85769	0,94179	0,98077	0,99492	0,99893
0,08	0,53188	0,71904	0,85993	0,94295	0,98124	0,99506	0,99896
0,09	0,53586	0,72240	0,86214	0,94408	0,98169	0,99520	0,99900
0,10	0,53983	0,72575	0,86433	0,94520	0,98214	0,99534	0,99903
0,11	0,54380	0,72907	0,86650	0,94630	0,98257	0,99547	0,99906
0,12	0,54776	0,73237	0,86864	0,94738	0,98300	0,99560	0,99910
0,13	0,55172	0,73565	0,87076	0,94845	0,98341	0,99573	0,99913
0,14	0,55567	0,73891	0,87286	0,94950	0,98382	0,99585	0,99916
0,15	0,55962	0,74215	0,87493	0,95053	0,98422	0,99598	0,99918
0,16	0,56356	0,74537	0,87698	0,95154	0,98461	0,99609	0,99921
0,17	0,56750	0,74857	0,87900	0,95254	0,98500	0,99621	0,99924

0,18	0,57142	0,75175	0,88100	0,95352	0,98537	0,99632	0,99926
0,19	0,57535	0,75490	0,88298	0,95449	0,98574	0,99643	0,99929
0,20	0,57926	0,75804	0,88493	0,95543	0,98610	0,99653	0,99931
Окончание приложения B							
<i>z</i>	$\Phi(z)$	$\Phi(0,5+z)$	$\Phi(1,0+z)$	$\Phi(1,5+z)$	$\Phi(2,0+z)$	$\Phi(2,5+z)$	$\Phi(3,0+z)$
0,21	0,58317	0,76115	0,88686	0,95637	0,98645	0,99664	0,99934
0,22	0,58706	0,76424	0,88877	0,95728	0,98679	0,99674	0,99936
0,23	0,59095	0,76731	0,89065	0,95818	0,98713	0,99683	0,99938
0,24	0,59483	0,77035	0,89251	0,95907	0,98745	0,99693	0,99940
0,25	0,59871	0,77337	0,89435	0,95994	0,98778	0,99702	0,99942
0,26	0,60257	0,77637	0,89617	0,96080	0,98809	0,99711	0,99944
0,27	0,60642	0,77935	0,89796	0,96164	0,98840	0,99720	0,99946
0,28	0,61026	0,78230	0,89973	0,96246	0,98870	0,99728	0,99948
0,29	0,61409	0,78524	0,90147	0,96327	0,98899	0,99736	0,99950
0,30	0,61791	0,78814	0,90320	0,96407	0,98928	0,99744	0,99952
0,31	0,62172	0,79103	0,90490	0,96485	0,98956	0,99752	0,99953
0,32	0,62552	0,79389	0,90658	0,96562	0,98983	0,99760	0,99955
0,33	0,62930	0,79673	0,90824	0,96638	0,99010	0,99767	0,99957
0,34	0,63307	0,79955	0,90988	0,96712	0,99036	0,99774	0,99958
0,35	0,63683	0,80234	0,91149	0,96784	0,99061	0,99781	0,99960
0,36	0,64058	0,80511	0,91308	0,96856	0,99086	0,99788	0,99961
0,37	0,64431	0,80785	0,91466	0,96926	0,99111	0,99795	0,99962
0,38	0,64803	0,81057	0,91621	0,96995	0,99134	0,99801	0,99964
0,39	0,65173	0,81327	0,91774	0,97062	0,99158	0,99807	0,99965
0,40	0,65542	0,81594	0,91924	0,97128	0,99180	0,99813	0,99966
0,41	0,65910	0,81859	0,92073	0,97193	0,99202	0,99819	0,99968
0,42	0,66276	0,82121	0,92220	0,97257	0,99224	0,99825	0,99969
0,43	0,66640	0,82381	0,92364	0,97320	0,99245	0,99831	0,99970
0,44	0,67003	0,82639	0,92507	0,97381	0,99266	0,99836	0,99971
0,45	0,67364	0,82894	0,92647	0,97441	0,99286	0,99841	0,99972
0,46	0,67724	0,83147	0,92785	0,97500	0,99305	0,99846	0,99973
0,47	0,68082	0,83398	0,92922	0,97558	0,99324	0,99851	0,99974
0,48	0,68439	0,83646	0,93056	0,97615	0,99343	0,99856	0,99975
0,49	0,68793	0,83891	0,93189	0,97670	0,99361	0,99861	0,99976

Примечания: 1.  $z$  - значение аргумента  $u$  от 0,00 до 0,49. Значение аргумента  $u$  от 0,50 и выше находят как сумму  $z$  и значений 0,5; 1,0; 1,5 и т.д. (см. обозначения граф таблицы).

2. Значение квантили  $u_\alpha$  уровня  $\alpha$  находят как значение аргумента  $u$ , соответствующего значению функции  $\Phi(u) = \alpha$ .

**Пример.** Значению  $\alpha = 0,99$  соответствует ближайшее табличное значение  $\Phi = 0,99010$ . По табл. В для этого значения функции находят значение аргумента  $u = 2,0 + 0,33 = 2,33$ .

### Приложение Г

Значения квантилей распределения Стьюдента  $t_\alpha(v)$  [12]

$v$	Значения квантилей распределения Стьюдента $t_\alpha(v)$ с $v$ степенями свободы для уровня $\alpha$									
	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	0,975	0,99	0,995	0,999
1	0,727	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,70	31,82	63,65	636,6
2	0,617	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,59
3	0,584	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,92
4	0,569	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,559	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,543	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,549	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,546	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,543	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,542	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,540	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437

12	0,539	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,538	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,537	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,536	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,173
16	0,535	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,534	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,534	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,533	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,533	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,532	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,532	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,532	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767
24	0,531	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,531	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,531	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,531	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	0,530	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,530	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
30	0,530	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646

Окончание приложения Г

$v$	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	0,975	0,99	0,995	0,999
									5	
40	0,529	0,681	0,851	0,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,527	0,679	0,848	0,046	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
12	0,526	0,677	0,845	0,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
0										
$\infty$	0,524	0,674	0,842	0,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291

Примечание. Для промежуточных значений  $\alpha$ , лежащих между двумя соседними табличными значениями  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ :

$$\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$$

значение квантиля  $t_\alpha(v)$  может быть вычислено приближенно по формуле (метод линейной интерполяции):

$$t_\alpha = (\alpha - \alpha_1) \left( \frac{t_{\alpha_2} - t_{\alpha_1}}{\alpha_2 - \alpha_1} \right) + t_{\alpha_1}.$$

# Предметный указатель

- Аксиомы 8, 9
- Биение осевое 65
  - радиальное 65
- Варианты 22
- Вариационный ряд 22
- Вероятность 8
  - произведения 9
- Выборка 21
  - мгновенная 22
  - общая 22
- Генеральное среднее 16
- Гистограмма 23
- Детали деревянные 37
- Децили 20
- Дисперсия 17
- Доверительный интервал 26
- Допуск квалитета 42
- Допуски и посадки 43
- Жесткость станка 50
- Испытания на точность 65
  - станков на жесткость 50
  - статические 50
- Квалитеты 41
- Квантиль 20
- Классы систем 35
  - точности станка 52
- Критерий согласия Пирсона 29
- Математическое ожидание 14, 16
- Медиана 19
- Мода 19
  - первоначальная 87
- Наладка станка 87
  - текущая 90
- Настройка станка 97
- Несоосность валов 65
- Нормальное распределение 14
- Объем выборки 21
- Окружающая среда 35
- Отказ 55, 58
- Оценка 24
  - интервальная 26
- Плотность распределения 13
- Погрешности 46
  - геометрические 62
  - размеров и формы 46
- Погрешность инструмента 46
  - обработки 47
  - приспособлений 46
  - систематическая 47
  - случайная 48
  - станка 46
- Подсистема 33
- Подход классический 10
  - статистический 11
- Поле допуска 39
- Полигона частот 22
- Посадка 40
- Предельные отклонения 38
- Проверка гипотез 28
- Производственный процесс 33
- Процентили 20
- Работоспособность 55, 57, 60
- Рабочее место 34
- Размеры детали 38
- Свойства системы 32
- Система технологическая 31

Случайная величина 11	Структура системы 32
– – дискретная 12	Технологическая операция 34
– – непрерывная 13	– стабильность 90
Событие 8	Технологический переход 34
– достоверное 8	– процесс 34
– невозможное 8	Уровень значимости $\alpha$ 30
– случайное 8	Утверждения 9
Совокупность генеральная 21	Формула Бернулли 9
Среднее квадратическое отклонение 19	Функции Лапласа 26
Средства измерения 49	Шероховатость 45
Старение машины 59	

# Оглавление

Предисловие .....	3
Введение.....	5
1. 1. Некоторые понятия теории вероятностей и ма- тематической статистики .....	8
1.1. Определение вероятности.....	8
1.1.1. События .....	8
1.1.2. Аксиомы теории вероятностей .....	8
1.1.3. Утверждения теории вероятностей .....	9
1.2. Случайные величины .....	11
1.2.1. Функция распределения .....	11
1.2.2. Дискретные случайные величины .....	12
1.2.3. Непрерывные случайные величины .....	13
1.2.4. Нормальное распределение .....	14
1.3. Числовые характеристики случайных величин	16
1.3.1. Математическое ожидание .....	16
1.3.2. Дисперсия. Среднее квадратическое от- клонение .....	17
1.4. Мода и медиана. Квантили .....	19
1.5. Ключевые понятия математической стати- стики .....	21
1.5.1. Генеральная совокупность .....	21
1.5.2. Выборка .....	21
1.5.3. Графики статистического распределения	22
1.6. Оценивание параметров .....	24
1.6.1. Виды оценок .....	24
1.6.2. Интервальная оценка .....	26
1.7. Проверка гипотез .....	28
2. Технологическая система, ее состояние.....	31
2.1. Понятие о технологической системе.....	31
2.1.1.Основные понятия и определения.....	31
2.1.2. Свойства системы.....	32
2.1.3. Подсистема технологической системы...	33
2.1.4. Классификация систем.....	35

2.1.5. Система "окружающая среда" .....	36
2.2. Деревянные детали .....	37
2.2.1. Форма и размеры деталей .....	37
2.2.2. Предельные отклонения.....	38
2.2.3. Поле допуска размера.....	39
2.2.4. Посадки.....	40
2.2. 5. Квалитеты.....	41
2.2.6. Допуск квалитета.....	42
2.2.7. Обозначение допусков и посадок.....	43
2.2.8. Форма, расположение и шероховатость 44 поверхностей.....	44
2.3. Точность машинной обработки деталей.....	46
2.3.1. Погрешности, влияющие на точность обра- ботки .....	46
2.3.2. Погрешности обработки деталей на станках.....	47
2.3.3. Средства измерения размеров .....	48
2.3.4. Жесткость деревообрабатывающих стан- ков.....	49
2.3.5. Испытания станков на жесткость.....	50
2.3.6. Классы точности станков.....	52
2.4. Состояние технологической системы.....	54
2.4.1. Работоспособность.....	54
2.4.2. Отказ технологической системы .....	55
2.4.3. Потеря работоспособности рабочей машины.....	57
2.4.4. Процессы, вызывающие отказ.....	58
2.4.5. Скорости протекания процессов .....	58
2.4.6. Старение машины.....	59
2.4.7. Схема потери машиной работоспособно- сти.....	60
3. Методы испытаний станков на геометрическую точность. Нормы точности.....	62
3.1. Типы геометрических погрешностей.....	62

3.1.1. Неплоскость и непрямолинейность поверхности.....	63
3.1.2. Непрямолинейность траектории перемещения.....	63
3.1.3. Непараллельность элементов и перемещений.....	64
3.1.4. Неперпендикулярность относительного положения элементов.....	64
3.1.5. Несоосность валов.....	65
3.1.6. Радиальное и осевое биение.....	65
3.2. Общие требования к испытанию станков.....	65
3.3. Рамы лесопильные одноэтажные.....	67
3.3.1. Общие сведения.....	67
3.3.2. Горизонтальность осей нижних подающих вальцов.....	67
3.3.3. Параллельность осей подающих вальцов	68
3.3.4. Точность перемещения пильной рамки	68
3.3.5. Проверка положения установочной линейки.....	69
3.4. Станки круглопильные для продольной распиловки древесины.....	70
3.4.1. Общая характеристика станков.....	70
3.4.2. Радиальное биение посадочных поверхностей под пилы.....	70
3.4.3. Торцовое биение поверхности опорного зажимного фланца пилы.....	71
3.4.4. Параллельность образующих подающих вальцов многопильных станков.....	71
3.4.5. Проверка положения пильного диска	73
3.4.6. Контроль размеров и формы пиломатериалов.....	73
3.5. Станки ленточнопильные.....	74
3.5.1. Радиальное биение обода пильного шкива.....	74
3.5.2. Торцовое биение обода пильного шкива	75
3.5.3. Параллельность торцов пильных	

ШКИВОВ.....	75
3.5.4. Положение рабочей ветви пильной ленты	76
3.5.5. Положение верхней направляющей пильной ленты.....	77
3.5.6. Проверка пиломатериалов .....	77
3.6. Станки ленточнопильные столярные.....	77
3.6.1. Общие сведения.....	77
3.6.2. Плоскостность рабочей поверхности стола.....	78
3.6.3. Прямолинейность направляющей линейки.....	78
3.6.4. Перпендикулярность направляющей линейки и пилы к поверхности стола.....	79
3.6.5. Другие параметры точности.....	79
3.7. Станки фуговальные.....	81
3.7.1. Проверка плоскости столов.....	81
3.7.2. Параллельность столов.....	81
3.7.3. Параллельность ножевого вала к поверхности заднего стола.....	82
3.7.4. Радиальное биение ножевого вала.....	83
3.7.5. Проверка точности станка в работе.....	83
3.8. Проверка точности рейсмусового станка.....	84
3.9. Проверка точности четырехстороннего продольно-фрезерного станка.....	85
 4. Обеспечение точности и стабильности технологических операций.....	87
4.1. Наладка станка.....	87
4.1.1. Первоначальная наладка.....	87
4.1.2. Текущая наладка.....	90
4.2. Технологическая стабильность операций	91
4.2.1. Общие сведения.....	91
4.2.2. Метод определения технологической стабильности процесса.....	92
4.3. Настройка станков.....	97

4.3.1. Методы настройки деревообрабатывающих станков.....	97
4.3.2. Определение начального центра настройки.....	99
4.4. Примеры решения практических задач	103
4.4.1. Определение класса точности станка	103
4.4.2. Построение нормальной кривой по опытным данным.....	105
4.4.3. Определение настроенности станка при известной его точности.....	106
4.4.4. Оценка среднего значения при неизвестной точности станка.....	108
4.4.5. Проверка правильности настройки станка на настроечный размер при известной точности	111
4.4.6. Проверка правильности настройки станка на настроечный размер при неизвестной точности.....	112
4.4.7. Проверка возможности обработки деталей на двух станках при известной их точности	114
4.4.8. Проверка возможности обработки деталей на двух станках при неизвестной их точности	116
Заключение.....	119
Библиографический список .....	121
Приложения.....	122
Предметный указатель .....	128