



С. В. Щепочкин
С. Н. Удинцева

ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ РАБОТЫ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ЧПУ

Екатеринбург
УГЛТУ
2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)

Кафедра механической обработки древесины

С. В. Щепочкин

С. Н. Удинцева

ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ РАБОТЫ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ЧПУ

Методические указания
для проведения самостоятельных работ
для обучающихся по направлению
«Технология лесозаготовительных
и деревоперерабатывающих производств»».
Все формы обучения

Екатеринбург
УГЛТУ
2025

Печатается по рекомендации методической комиссии Инженерно-технического института УГЛТУ.

Протокол № 3 от 7 ноября 2024 г.

Рецензент – М. В. Газеев, д-р техн. наук, завкафедрой механической обработки древесины

Предназначены для всех обучающихся, осваивающих образовательные программы всех направлений и специальностей высшего образования, реализуемых в УГЛТУ.

Редактор Р. В. Сайгина

Оператор компьютерной верстки Е. Н. Дунаева

Подписано в печать 20.11.2025

Плоская печать

Формат 60×84 /16

Поз. 9

Заказ №

Печ. л. 0,93

Тираж 10 экз.

Редакционно-издательский сектор РИО УГЛТУ

Сектор оперативной полиграфии РИО УГЛТУ

ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ РАБОТЫ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ЧПУ

Одним из критериев качества изделий из древесины является полное соответствие размеров и формы деталей, обработанных на станках, размерам и форме, указанным на чертежах. Это обеспечивается подбором станков по точности. При эксплуатации технологическая точность станков систематически контролируется.

Испытанию на точность должен подвергаться каждый станок, изготовленный на станкостроительном заводе, и каждый станок после капитального и среднего ремонтов. После ремонта точность параметров станка должна соответствовать нормам точности, указанным в стандарте или в паспорте на данный станок.

Точность работы станка проверяется путем обработки образцов на станке. При испытании станка должен использоваться измерительный инструмент, точность которого не превышает 20 % от допуска на измеряемый размер.

Целью настоящей лабораторной работы является освоение методики и приобретение практических навыков проверки точности работы фрезерного деревообрабатывающего станка с ЧПУ.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Погрешности. Точность станочной обработки характеризуется величиной фактической погрешности размеров и формы обработанной детали. Если погрешности размеров относятся к конкретной детали, то их называют отклонениями размеров.

Если погрешности размеров относятся к партии деталей, то их называют *рассеянием размеров*. Погрешность обработки обусловлена рядом факторов:

- 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.

Общая погрешность представляет собой алгебраическую сумму всех переменных погрешностей: $\Delta_0 = \Delta_c + \Delta_{сл}$.

Погрешности обработки подразделяются на систематические и случайные.

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 и направляющих станка, непараллельностью направляющих 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 и закономерно-переменные.

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 и температурных деформаций узлов станка.

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 станка, инструмента, детали.

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

Технологическая стабильность операций. В работающем станке происходят энергетические процессы, протекающие с различной скоростью: быстро протекающие, со средней скоростью и медленно протекающие. Эти процессы приводят к изменению систематических погрешностей станка, увеличивают поле рассеяния 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.

Технологической стабильностью (ГОСТ 16949-71) называют свойство технологического процесса сохранять показатели качества изготавливаемой продукции в заданных пределах в течение некоторого времени.

Для технологических операций, выполняемых на станке, стабильностью называют свойство сохранять неизменным поле рассеяния погрешностей в течение определенного времени.

Проверка точности и стабильности проводится по каждому параметру детали (толщине, ширине и т. д.) в отдельности, выполняется экспериментальным путем с использованием методов математической статистики.

Выборка. Обработка результатов измерений. Для определения точности работы деревообрабатывающего станка образуют выборки.

Выборка (выборочная совокупность) – это часть генеральной совокупности объектов, отобранная по определенной методике, обеспечивающей ее репрезентативность (представительность), т. е. возможность распространения полученных результатов с достаточной достоверностью на всю генеральную совокупность. Вся совокупность единиц, из которой производится отбор, называется генеральной, а ее обобщающие показатели – генеральными.

Процесс извлечения обработанных деталей на станке для проведения исследования называют отбором выборки. Число выборочных единиц в выборке называют *объем выборки*. Для определения точности работы станка объем выборки берут равным от 10 до 50 деталей, по которым делают 30–150 измерений размеров и определяют совместное влияние случайных и систематических факторов.

Большая часть измеряемых в технике величин носит случайный характер. *Случайная величина* – это переменная, которая может принимать любое значение из заданного множества значений и с которой связано распределение вероятностей. В результате испытаний случайная величина примет одно и только одно возможное значение. Это значение наперед не известно и зависит от случайных причин, которые заранее учесть невозможно.

Значения случайной величины и их вероятности взаимосвязаны между собой некоторым законом распределения. Наиболее часто используется закон нормального распределения.

Среднее значение выборки или центр рассеяния по данным выборки определяют по следующей формуле

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

где n – количество измерений деталей в выборке;

x_i – измеренный размер в выборке.

Дисперсия – это числовая характеристика случайной величины, показывающая как рассеяны значения случайной величины вокруг ее среднего. Обозначается $D(X)$ – дисперсия случайной величины X .

Дисперсией (рассеянием) дискретной случайной величины называют среднее значение квадрата отклонения случайной величины от ее среднего выборочного:

$$D(X) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}. \quad (2)$$

Для линейных размеров дисперсия имеет размерность мм^2 .

Среднее квадратическое отклонение есть числовая характеристика, которая служит для оценки рассеяния случайной величины вокруг ее среднего значения.

Средним квадратическим, или стандартным, отклонением случайной величины X называют квадратный корень из дисперсии:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)}. \quad (3)$$

Нормальное распределение. Нормальным называют распределение вероятностей непрерывной случайной величины, которое описывается плотностью

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

Нормальное распределение определяется параметрами a и σ , где a – математическое ожидание; σ – среднее квадратическое отклонение нормального распределения. График плотности нормального распределения показан на рис. 1.

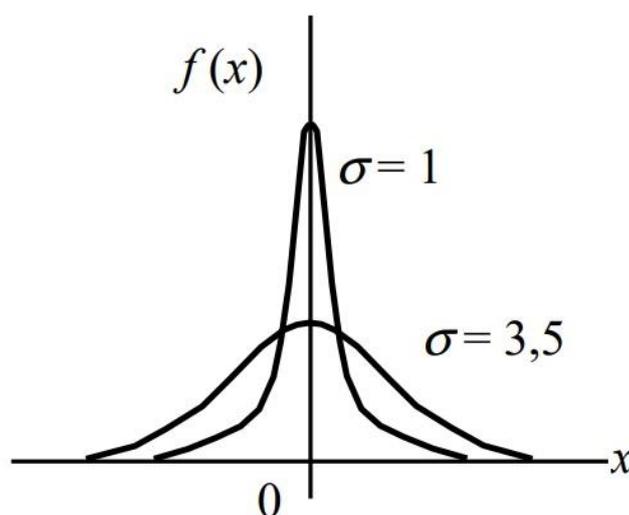


Рис. 1. Кривые нормального распределения

С увеличением параметра σ нормальная кривая становится ниже, положе и шире. С изменением среднего форма нормальной кривой не изменяется, только кривая смещается вправо, если значение \bar{x} увеличивается, или влево, если значение \bar{x} уменьшается. Площадь под кривой во всех случаях равна 1 или 100 % всех значений случайной величины в генеральной совокупности.

Правило трех сигм. Если случайная величина распределяется нормально, то абсолютная величина ее отклонения от среднего не превосходит утроенного среднего квадратического отклонения.

Вероятность того, что отклонение по абсолютной величине будет меньше утроенного среднего квадратического отклонения, равна 0,9973.

В этом случае величина рассеяния случайной величины находится на участке $x - 3\sigma$; $x + 3\sigma$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить заготовки для обработки на станке, определить их размеры.

2. Уточнить у преподавателя параметры режущего инструмента или самостоятельно ознакомиться с режущим инструментом станка, записать основные его параметры.

3. Начертить эскиз детали и составить управляющую программу для фрезерного станка с ЧПУ. В качестве детали рекомендуется выбрать плоскую деталь круглой формы (диаметром от 25 до 50 мм).

4. Настроить станок и произвести обработку 10–50 деталей.

5. На полученных деталях выполнить разметку мест измерения. В качестве контролируемого размера принять наружный диаметр детали.

6. Точность работы станка определяется путем исследования выборки, взятой из генеральной совокупности при обработке партии 10–50 деталей. Контролируемый размер измеряют в трех местах микрометром или штангенциркулем с точностью не менее 0,01 мм. Данные измерений заносят в отчет о работе.

Все измеренные значения размера X графически можно отложить на отрезке $[a, b]$, заключенном между граничными значениями X_{\max} и X_{\min} . Разобьем этот отрезок на N равных интервалов ($N \geq 10$).

Величина интервала, мм

$$K = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{N}. \quad (5)$$

Найдя середины интервалов и сосчитав, сколько раз они встретились в выборке, установим распределение частот в выборке. При статистической обработке материалов наблюдений находят среднее значение выборки (1), среднее квадратическое отклонение (3) и допуск.

Рассеяние размера

$$\omega = 6\sigma. \quad (6)$$

Рассеяние размера не должно выходить за пределы допуска на размер. Допуск на размер принимается в зависимости от размера изготовленной детали, а также от требуемого качества по таблице приложения.

7. Рассчитать параметры кривой нормального распределения и построить ее (рис. 2). Для построения теоретической кривой на горизонтальной оси графика откладывают среднее значение выборки \bar{x} ,

восстанавливают перпендикуляр, на котором откладывают значение y_{\max} , определяемое по формуле

$$y_{\max} = \frac{0,4Kn}{\sigma}. \quad (7)$$

Кривая нормального распределения симметрична относительно ординаты y_{\max} . Для нахождения других точек этой кривой пользуются выражением:

$$y = z y_{\max}, \quad (8)$$

где z – коэффициент, зависящий от σ :

Доля σ	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
z	0,883	0,607	0,325	0,125	0,044	0,011

8. На графике нормального распределения нанести кривую практического полигона рассеяния. Для этого по оси абсцисс откладывают значения x_i , а по оси ординат – n_i . Полигон рассеяния и кривая нормального распределения должны соответствовать друг другу. В противном случае надо выявить резко влияющий фактор и по возможности уменьшить его влияние.

9. Сделать заключение о точности станка и возможности обработки деталей на станке.

Для оценки точности и стабильности технологического процесса используются следующие стандартизованные коэффициенты.

Коэффициент точности K_T

$$K_T = \frac{6S}{T} \leq 1. \quad (9)$$

где S – выборочное среднеквадратическое отклонение параметра;

T – поле допуска на размер.

Чем меньше значение K_T , тем более длительное время станок может работать без поднастройки до наступления отказа. При $K_T = 1$ работать без брака невозможно. Точность технологического процесса оценивают исходя из следующих критериев (рис. 2).

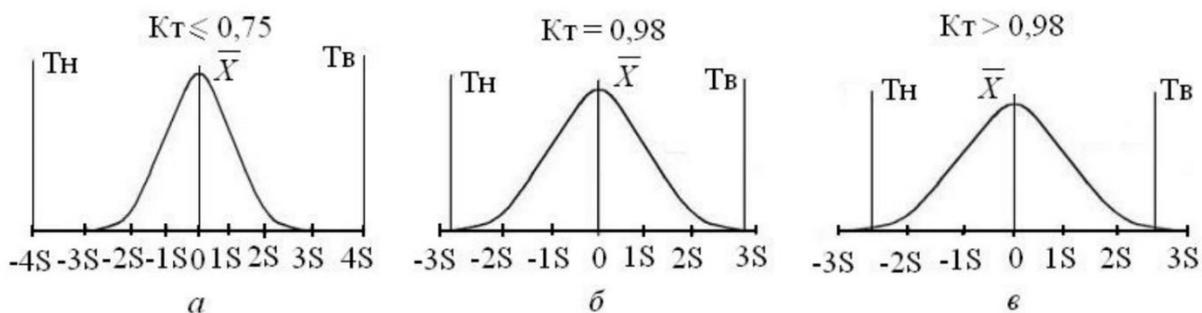


Рис. 2: а – высокоточный с запасом; б – с удовлетворительной точностью; в – неудовлетворительный по точности.

Коэффициент настроенности K_H

Поле допуска детали определяется интервалом значений размера x от

$$X_T - T/2 \text{ до } X_T + T/2 ,$$

где X_T – координата середины поля допуска;

$T/2$ – половина поля допуска.

$$K_H = \frac{\bar{x} - X_T}{T} \rightarrow 0. \quad (10)$$

Коэффициент настроенности показывает, насколько точно среднее арифметическое выборки совпадает с серединой поля допуска. На практике часто бывают случаи, когда среднее арифметическое выборочное смещено относительно середины поля допуска (рис. 3).

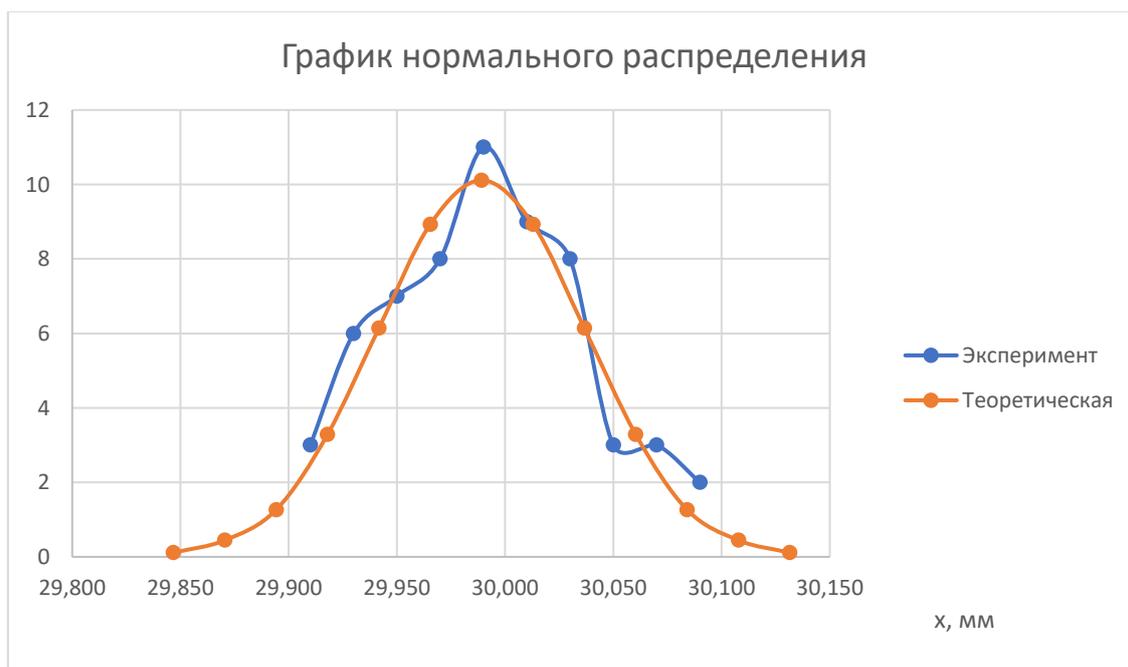


Рис. 3. Теоретическая кривая и полигон наблюдаемых частот

Результаты измерений

№ изм.	x_i , мм	№ изм.	x_i , мм
1	30,01	31	29,95
2	29,97	32	30,02
3	30,01	33	29,98
4	29,98	34	29,96
5	30,00	35	29,96
6	29,99	36	29,99
7	30,09	37	29,93
8	29,93	38	30,01
9	30,01	39	30,05
10	29,98	40	30,07
11	29,90	41	30,00
12	30,10	42	29,92
13	29,95	43	29,92
14	29,97	44	29,99
15	30,01	45	30,01
16	30,08	46	29,97
17	29,95	47	30,01
18	29,95	48	29,99
19	30,05	49	29,96
20	30,02	50	29,93
21	29,97	51	30,03
22	29,90	52	29,95
23	30,03	53	30,00
24	30,08	54	30,04
25	29,99	55	30,02
26	29,93	56	30,03
27	29,95	57	29,99
28	29,97	58	29,95
29	30,04	59	29,90
30	29,98	60	30,03

Пример протокола статистической обработки результатов измерений

№ интервалов	Границы интервалов		Середина интервала	Частота
	min	max		
1	29,90	29,920	29,910	3
2	29,920	29,940	29,930	6
3	29,940	29,960	29,950	7
4	29,960	29,980	29,970	8
5	29,980	30,000	29,990	11
6	30,000	30,020	30,010	9
7	30,020	30,040	30,030	8
8	30,040	30,060	30,050	3
9	30,060	30,080	30,070	3
10	30,080	30,100	30,090	2

Граничные значения	
X_{\min} , мм	29,900
X_{\max} , мм	30,100
Количество равных интервалов, N	10
Величина интервала, мм, K	0,020
Среднее значение выборки, мм, \bar{x}	29,989
Дисперсия, мм ² , $D(X)$	0,0023
Среднее квадратическое отклонение, мм, σ	0,047
Рассеяние размера, ω	0,285
y_{\max}	10,114
Коэффициент точности K_t	0,863
Поле допуска на размер для 13-ого качества, для размера 30 мм	
T , мм	0,33
Коэффициент настроенности K_n	-0,033

Построение теоретической кривой нормального распределения

Доля σ	z	y	x , мм
-3,0	0,011	0,111	29,847
-2,5	0,044	0,445	29,871
-2,0	0,125	1,264	29,894
-1,5	0,325	3,287	29,918
-1,0	0,607	6,139	29,942
-0,5	0,883	8,931	29,965
0,0	1,000	10,114	29,989
0,5	0,883	8,931	30,013
1,0	0,607	6,139	30,037
1,5	0,325	3,287	30,060
2,0	0,125	1,264	30,084
2,5	0,044	0,445	30,108
3,0	0,011	0,111	30,132

Приложение

Единая система допусков и посадок (ЕСДП)

Таблица А.2 - Значения допусков для размеров до 500 мм (по ГОСТ 25346 - 89)

Интервал размеров, мм		Квалитет																			
		01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Свыше	До	Допуск IT, мкм																			
			3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	1800
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	2200
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
180	250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
250	315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700

Примечание. Для размеров до 1 мм квалитеты от 14 до 18 не применяются.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глебов, И. Т. Оборудование отрасли. Проверка точности работы рейсмусового станка : методические указания к лабораторной работе / И. Т. Глебов. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2013. – 11 с.
2. Глебов, И. Т. Технологическая точность деревообрабатывающих станков / И. Т. Глебов, А. Ю. Вдовин. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2006. – 135 с.
3. Глебов, И. Т. Обработка древесины на станке с ЧПУ : учебное пособие / И. Т. Глебов. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 140 с. // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/131024> (дата обращения: 20.11.2025).
4. Глебов, И. Т. Основы программирования станков с ЧПУ для фрезерования древесины : учебное пособие для вузов / И. Т. Глебов, В. В. Глебов. – Изд. 2-е, стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 92 с.