

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 30.03.2023 17:05:30

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)**

Кафедра машиностроительных технологий и оборудования



БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО. ВРЕМЯ ТАКТА И ВРЕМЯ ЦИКЛА. РАСЧЕТ ОЕЕ

**Методические рекомендации по выполнению лабораторной работы
для студентов направления 15.04.01**

Курск 2021

УДК 621.(076.1)

Составители: Е.И.Яцун

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *О.С.Зубкова*

Бережливое производство. Время такта и время цикла. Расчет ОЕЕ: методические рекомендации по выполнению лабораторной работы для студентов направления 15.04.01 / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Е.И.Яцун. – Курск, 2021. – 19 с.:– Библиогр.: с. 19.

Содержат сведения по анализу эффективности работы обрабатывающих центров при производстве деталей, входящих в одно изделие с использованием инструментов бережливого производства.

Методические рекомендации соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по специальностям автоматизированного машиностроительного производства (УМО АМ).

Предназначены для студентов специальностей 120100, 120200 дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ. л. [кол-во стр. : 16 x 0,93] . Уч.-изд. л. [кол-во стр. : 19].
Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Задание. Провести анализ производительности обрабатывающих центров при производстве деталей, входящих в одно изделие с использованием инструментов бережливого производства.

Введение

В 1960–70 годы произошло событие всемирно-исторического значения - эпоха массового индустриального производства подошла к концу.

Фирме «Тойота» удалось создать в 2–3 раза более эффективную технологию поточного изготовления индивидуальных изделий. Позже этот новый тип производства назвали английским словом «Lean». В России Lean Production принято переводить как Бережливое производство. Схема «Дом TPS» (Рис. 1) была разработана Таичи Оно (Taiichi Ohno) и И. Тойода (E. Toyoda) специально для того, чтобы упростить объяснение сути производственной системы Тойоты служащим и поставщикам. По словам разработчиков, форма дома - крыша, колонны и основание, была использована преднамеренно, потому что она понятна каждому и символизирует стабильность и основательность.

Фундамент «здания TPS» — 3 принципа:

Хейдзунка (heijunka), [Кайдзен \(Kaizen\)](#) и стандартная работа (Standard work).

Хейдзунка — организация «сглаживания» производственного плана, при котором заказы выполняются циклами, а дневные колебания уровня заказов приводятся к их значению в долгосрочной перспективе.

Кайдзен — непрерывное, постоянное улучшение деятельности с целью увеличения ценности и уменьшения потерь.

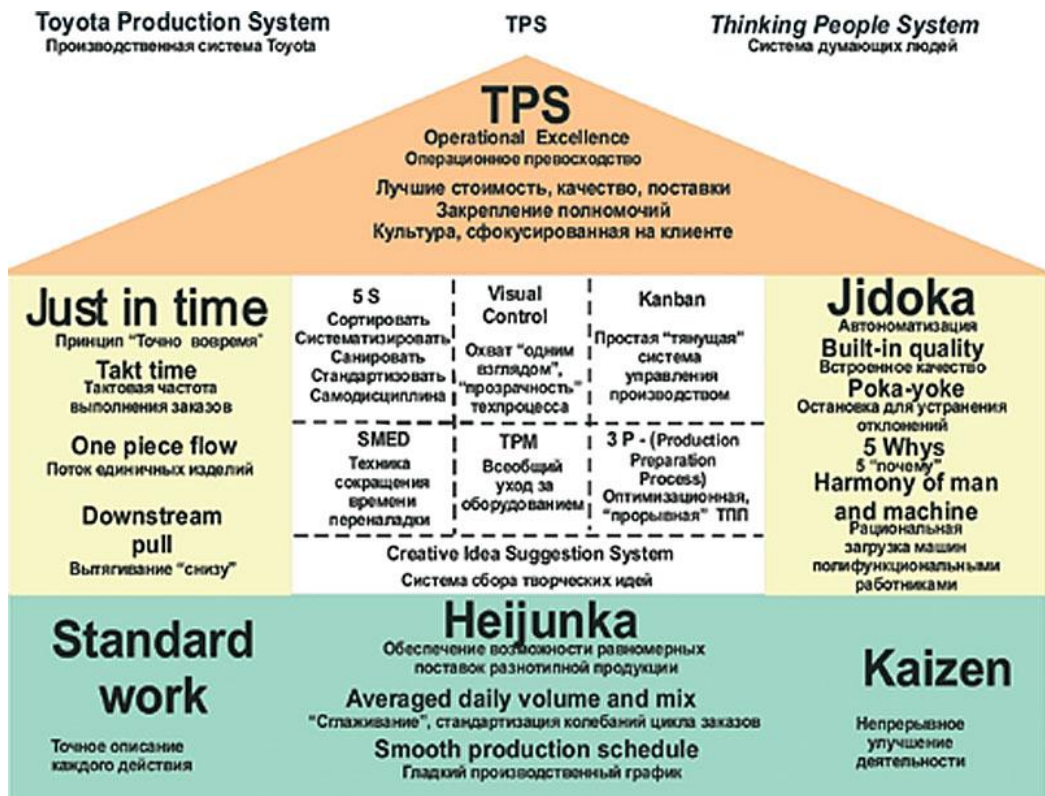


Рис. 1 Дом TPS

Стандартная работа (standard work) — точное описание каждого действия, включающее время цикла, время такта, последовательность выполнения определенных задач, минимальное количество запасов для выполнения работы.

Варианты заданий

Вар.	Рабочее место	Фонд времени на смену	Плановые перерывы, мин.	Время производства с.	Кол-во смен	Кол-во рабочих дней в месяце	Заказ на месяц, шт.	Заказ на производство в смену, шт.	Время такта, с	Время цикла, с.
1	Станок 1	7 час.35 мин.	65		1	21	1000			160
	Станок 2	8 час.	40		1		960			
	Станок 3	8 час.	70		2		3500			
2	Станок 1	7 час.35	50		1	20	2000			90

		мин.								
	Станок 2	8 час.	60		2		1000			
	Станок 3	8 час.	45		1		4000			
3	Станок 1	8 час.	60		2	20	960			180
	Станок 2	7 час	45		1		3500			
	Станок 3	7 час. 30 мин.	50		1		2000			
4	Станок 1	7 час. 20 мин.	50		1	21	1000			110
	Станок 2	8 час.	60		2		4000			
	Станок 3	7 час	45		1		1000			
5	Станок 1	7 час. 30 мин.	60		1	18	960			120
	Станок 2	7 час.	45		1		3500			
	Станок 3	8 час.	50		2		2000			
6	Станок 1	7 час.35 мин.	65		1	17	1000			140
	Станок 2	8 час.	40		2		3500			
	Станок 3	8 час.	70		1		2000			
7	Станок 1	7 час.35 мин.	50		2	22	1000			100
	Станок 2	8 час.	60		1		10000			
	Станок 3	8 час.	45		1		960			
8	Станок 1	8 час.	60		1	22	3500			90
	Станок 2	7 час	45		2		2000			
	Станок 3	7 час. 30 мин.	50		1		1000			
9	Станок 1	7 час.35 мин.	50		1	21	4000			160
	Станок 2	8 час.	60		1		960			
	Станок 3	8 час.	45		2		3500			
10	Станок 1	7 час.35 мин.	60		1	21	2000			180

	Станок 2	8 час.	45		2		1000			
	Станок 3	8 час.	50		1		1000			
11	Станок 1	8 час.	65		2	20	1000			110
	Станок 2	7 час	40		1		960			
	Станок 3	7 час. 30 мин.	70		1		3500			
12	Станок 1	7 час.35 мин.	50		1	19	2000			190
	Станок 2	8 час.	60		2		1000			
	Станок 3	8 час.	45		1		3500			
13	Станок 1	7 час.35 мин.	60		1	19	2000			110
	Станок 2	8 час.	45		1		1000			
	Станок 3	8 час.	50		2		1000			
14	Станок 1	8 час.	50		1	18	960			150
	Станок 2	7 час	60		2		3500			
	Станок 3	7 час. 30 мин.	45		1		2000			
15	Станок 1	7 час.35 мин.	60		2	17	1000			160
	Станок 2	8 час.	45		1		4000			
	Станок 3	8 час.	50		1		960			
16	Станок 1	7 час.35 мин.	65		1	18	3500			90
	Станок 2	8 час.	40		2		2000			
	Станок 3	8 час.	70		1		1000			
17	Станок 1	8 час.	50		1	19	4000			80
	Станок 2	7 час	60		1		1000			
	Станок 3	7 час. 30 мин.	45		2		960			
18	Станок 1	7 час.35 мин.	60		1	20	3500			110
	Станок 2	8 час.	45		2		2000			

	Станок 3	8 час.	50		1		1000			
19	Станок 1	7 час.35 мин.	50		2	21	3500			150
	Станок 2	8 час.	60		1		2000			
	Станок 3	8 час.	45		1		1000			
20	Станок 1	8 час.	60		1	22	1000			190
	Станок 2	7 час	45		2		960			
	Станок 3	7 час.30 мин.	50		1		3500			
21	Станок 1	8 час.	50		1	19	2000			180
	Станок 2	7 час	60		2		1000			
	Станок 3	7 час.30 мин.	45		1		4000			
22	Станок 1	7 час.35 мин.	60		2	20	960			110
	Станок 2	8 час.	45		1		3500			
	Станок 3	8 час.	50		1		2000			

Время цикла - интервал времени или периодичность, с которой процесс выдает готовую продукцию.

Позволяет:

- *определить фактическую производительность процесса*
- ☞ *оценить максимально возможную производительность процесса*

Время такта — интервал времени или периодичность, с которой потребитель запрашивает готовую продукцию

Позволяет определить:

- ☞ *Соответствие процесса возрастанию спроса*
- ☞ *Размер партии, соответствующий спросу при актуальном времени переналадки*
- ☞ *Соответствие производительности процесса потребительскому спросу*
- ☞ *Необходимую производительность каждой производственной единицы*

$$\text{Время такта} = \frac{\text{Время производства (за день)}}{\text{Спрос в штуках (за день)}}$$

Примеры расчета

ПРИМЕР 1.

Дано:

- Рабочая смена с 7:00 до 15:40.
- Плановые перерывы – 65 минут (обед – 40 минут и регламентированные перерывы – 25 минут)
- Таким образом, чистое время обработки:
7 часов 35 минут или 27 300 секунд.
- Заказ на производство: **22 изделия**

Решение:

$$\text{Время такта} = \frac{27\,300 \text{ сек}}{22 \text{ изделия}} = 1241 \text{ секунд/изделие}$$

ПРИМЕР 2.

Длительность смены составляет 8 часов. В течение смены предусмотрены 4 перерыва по 10 минут. В этом случае время производства будет равно длительности смены минус длительность перерывов = 8 часов по 60 минут минус 4 перерыва по 10 минут = **440 минут или 26400 секунд.**

Спрос на продукцию за месяц составляет 10560 штук. В месяце 20 рабочих дней. В таком случае спрос в штуках за день будет составлять: 10560 делим на 20, получаем **528 штук в день.**

Теперь мы можем рассчитать время такта. Делим время производства на спрос в течение дня, 26400 секунд делим на 528 штук – получаем **50 секунд.**

Это означает, что каждые 50 секунд одна единица продукции должна переходить на следующую стадию производства. Или что каждые 50 секунд мы должны отгружать нашим клиентам одну единицу продукции.

Время цикла измеряется на основе наблюдений, т.е. это реально существующая величина, в отличие от величины расчетной – времени такта.

Время цикла может измеряться для всего процесса в целом - тогда это будет называться время цикла процесса, для отдельного этапа процесса - тогда это может быть время цикла участка, или даже для одного станка - тогда это будет время цикла рабочего места (Рис. 5).

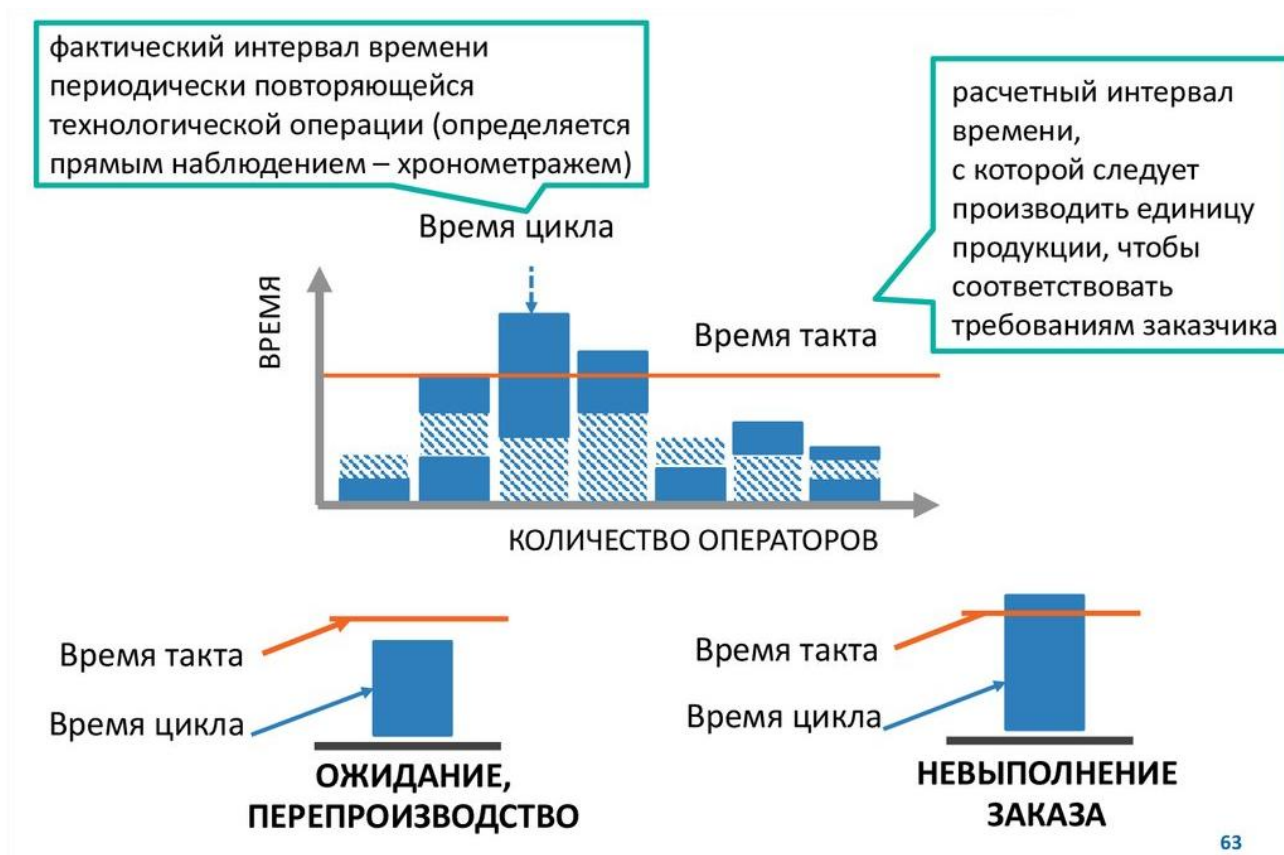


Рис. 5 Время такта и время цикла

3 Практическая часть

Для расчета времени цикла нужно разделить время производства партии на размер партии в штуках. Например, если каждые 10 минут станок производит 8 деталей, то время цикла составляет 75 секунд: 10 минут по 60 секунд = 600 с.; $600/8 = 75$ с. на деталь. Время цикла в 75 секунд в данном случае означает, что на производство единицы продукции требуется 75 секунд.

В зависимости от того, из чего состоит операция, во время цикла может входить:

- время загрузки сырья и материалов;
- время ручной работы оператора;
- время автоматической работы оборудования;
- время выгрузки материалов или готовой продукции;
- время транспортировки сырья, материалов, готовой продукции.

Во время цикла не входит время переналадки с одного типа продукции на другой.

В нашем случае время цикла состоит из ручной работы оператора, далее работы оборудования, еще одной части работы оператора и транспортировки готовой продукции на следующую операцию.

Время цикла используется для того, чтобы определить фактическую производительность процесса. Также время цикла позволяет определить максимально возможную производительность процесса при той скорости, которая была измерена.

Для того, чтобы процесс успевал за спросом, время цикла должно быть меньше времени такта. Если мы успеваем производить изделия со скоростью 37,5 секунд, а спрос у нас требует выпуска изделий со скоростью 50 секунд, значит мы успеваем.

Проведен хронометраж времени цикла механической обработки трех деталей, из которых состоит изделие, на трех обрабатывающих центрах цеха.

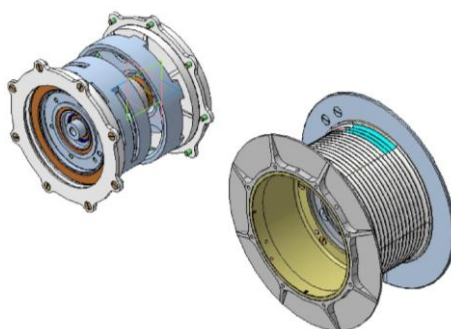


Рис. 3. Редуктор

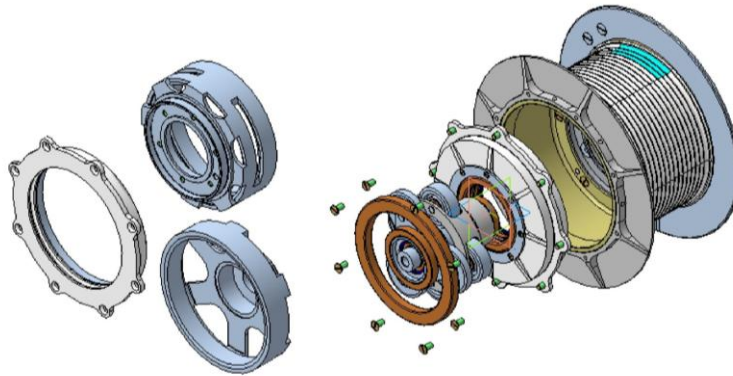


Рис. 4 Сборочная единица и детали, обрабатываемые на токарно-фрезерных центрах

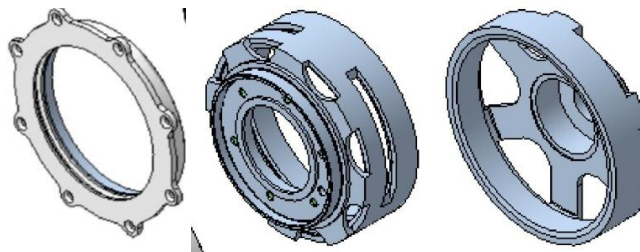


Рис. 5 Детали 1, 2, 3

1) Определение времени такта и времени цикла

Рабочее место 1 (Станок 1, деталь 1).

Рабочая смена - 7 час. 35 мин.

Перерыв - 60 мин.

Время производства:

$$T_{\text{произв.}} = 7 \text{ час. } 35 \text{ мин.} - 60 \text{ мин.} = 6 \text{ час. } 35 \text{ мин.} = 395 \text{ мин.} = 23700 \text{ с.}$$

Количество смен – 1.

Количество рабочих дней в месяце – 21 день.

$$\text{Время производства в месяц: } T_{\text{произв.мес.}} = 23700 \cdot 1 \cdot 21 = 497700 \text{ (с.).}$$

Заказ на производство на месяц – 2000 шт.

$$\text{Время такта за месяц} = 497700 / 2000 = 248,85 \text{ с./шт.} = 4,15 \text{ мин./шт.}$$

Заказ на производство в смену – $2000 / 21 = 95,24 = 96$ шт.

$$\text{Время такта за смену} = 23700 / 96 = 247 \text{ (с./шт.)} = \mathbf{4,12} \text{ (мин./шт.).}$$

Рабочее место 2 (Станок 2, деталь 2).

Рабочая смена - 8 час.

Перерыв - 45 мин.

Время производства:

$$T_{\text{произв.}} = 8 \text{ час.} - 45 \text{ мин.} = 7 \text{ час. } 15 \text{ мин.} = 435 \text{ мин.} = 26100 \text{ с.}$$

Количество смен – 2.

Количество рабочих дней в месяце – 21 день.

$$\text{Время производства в месяц: } T_{\text{произв.мес.}} = 26100 \cdot 2 \cdot 21 = 1096200 \text{ (с.)}$$

Заказ на производство на месяц – 1000 шт.

$$\text{Время такта за месяц} = 1096200/1000 = 1096,2 \text{ с./шт.} = 4,15 \text{ мин./шт.}$$

Заказ на производство в смену – $1000/21 = 95,24 = 47,6$ шт.

$$\text{Время такта за смену} = 25800/191 = 135 \text{ (с./шт.)} = 2,25 \text{ (мин./шт.)}$$

Рабочее место 3 (Станок 3, деталь 3).

Рабочая смена - 8 час.

Перерыв - 50 мин.

Время производства:

$$T_{\text{произв.}} = 8 \text{ час.} - 50 \text{ мин.} = 7 \text{ час. } 10 \text{ мин.} = 430 \text{ мин.} = 25800 \text{ с.}$$

Количество смен – 1.

Количество рабочих дней в месяце – 21 день.

$$\text{Время производства в месяц: } T_{\text{произв.мес.}} = 25800 \cdot 1 \cdot 21 = 541800 \text{ (с.)}$$

Заказ на производство на месяц – 4000 шт.

$$\text{Время такта за месяц} = 541800/4000 = 135,45 \text{ с./шт.} = 2,26 \text{ мин./шт.}$$

Заказ на производство в смену – $4000/21 = 95,24 = 191$ шт.

$$\text{Время такта за смену} = 25800/191 = 135,45 \text{ (с./шт.)} = \mathbf{2,26} \text{ (мин./шт.)}$$

Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов

Рабочее место	Фонд времени на смену	Плановые перерывы, мин.	Время производства за месяц, с.	Кол-во смен	Кол-во рабочих дней в месяце	Заказ на производство на месяц, шт.	Заказ на производство в смену, шт.	Время такта, с	Время цикла, с.	Коэффициент загрузки
Станок 1	7 час. 35 мин.	60	23700	1	21	2000	96	248,85	80	$80/248,85=0,32$
Станок 2	8 час.	45	26100	2		1000	23,8	1096,20		$80/1096,20=0,07$
Станок 3	8 час.	50	25800	1		4000	190,47	135,45		$80/135,45=0,59$

По результатам расчетов построена диаграмма (Рис. 6).

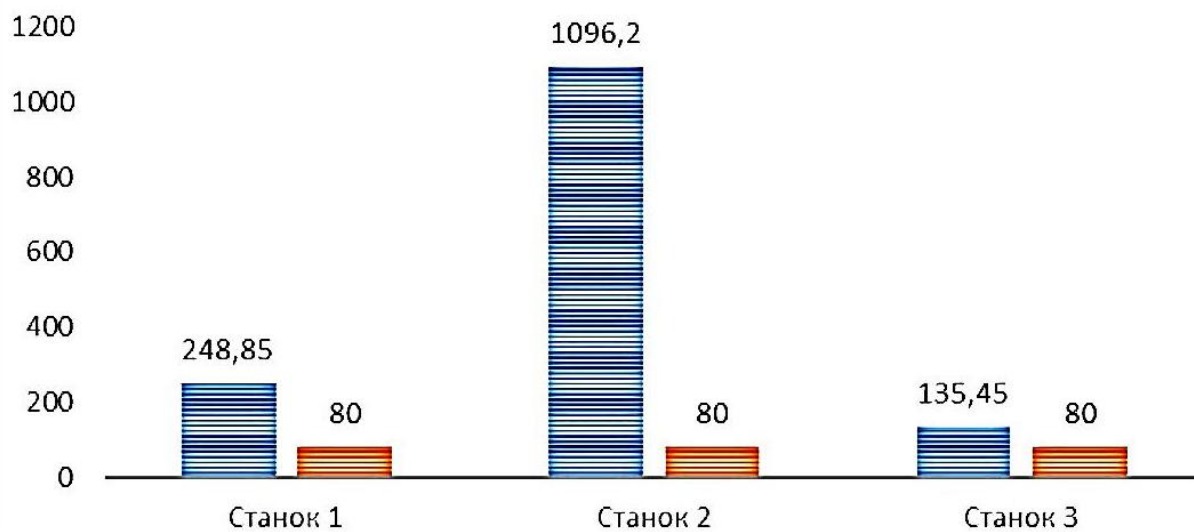


Рис.6 Сравнение времени такта и времени цикла:

■ - время такта; ■ - время цикла

Вывод. Все станки недогружены. Для станка 1 и 3 производим дозагрузку другими деталями. Для станка 2 – заказ выполняем в одну смену и также производим дозагрузку другими деталями.

Проводим пересчет для станка 2 на 1 смену.

Рабочее место 2 (Станок 2, деталь 2).

Рабочая смена - 8 час.

Перерыв - 45 мин.

Время производства:

$$T_{\text{произв.}} = 8 \text{ час.} - 45 \text{ мин.} = 7 \text{ час. } 15 \text{ мин.} = 435 \text{ мин.} = 26100 \text{ с.}$$

Количество смен – 1.

Количество рабочих дней в месяце – 21 день.

$$\text{Время производства в месяц: } T_{\text{произв.мес.}} = 26100 \cdot 1 \cdot 21 = 548100 \text{ (с.)}$$

Заказ на производство на месяц – 1000 шт.

$$\text{Время такта за месяц} = 548100 / 1000 = 548,1 \text{ с./шт.} = 9,135 \text{ мин./шт.}$$

$$\text{Заказ на производство в смену} = 1000 / 21 = 95,24 = 47,6 \text{ шт.}$$

$$\text{Время такта за смену} = 26100 / 47,6 = 548,3 \text{ (с./шт.)} = \mathbf{9,14} \text{ (мин./шт.)}$$



Рис.7 Сравнение времени такта и времени цикла после изменений для станка 2 – работа над заказом в одну смену: ■ - время такта; ■ - время цикла

Вывод. Наблюдаются ожидание и перепроизводство, т.к. время такта значительно превышает время цикла. Поэтому, после производства необходимого количества конкретной детали, обрабатывающий центр переходит на обработку других деталей. Иными словами, время такта для изготовления только

рассматриваемой детали показывает недозагрузку станка или возможность обработки других деталей. Фактически все 3 детали можно обработать на одном станке за 1 смену.

2) Определение эффективности работы оборудования (ОЕЕ) на участке многоцелевых станков

Для расчета используем методические указания для самостоятельной работы и практических занятий «Эффективность станочного оборудования».

Пример. Механизм расчета общей эффективности оборудования: пример Jordan Steel Company. Альманах Управление пр-вом. <http://www.up-pro.ru/shop/almanach.html> Стр. 47-52.

$$OEE = \text{Доступность} * \text{Производительность} * \text{Качество} * 100\%$$

T_n	Плановый фонд работы оборудования	
T_∂	Фактическое время, в течении которого оборудование было готово к выполнению работы	Ремонты
$T_{раб}$	Фактическое время, затраченное непосредственно на обработку продукции	Потери
$T_{кач}$	Фактическое время, затраченное на производство соответствующей продукции	Брак

$$OEE = \frac{T_\partial}{T_n} * \frac{T_{раб}}{T_\partial} * \frac{T_{кач}}{T_{раб}} * 100\%$$

$$\text{Доступность} = \frac{T_\partial}{T_n}$$

$$\text{Производительность} = \frac{T_{раб}}{T_\partial}$$

$$\text{Качество} = \frac{T_{кач}}{T_{раб}}$$

Рис. 1 Элементы общей эффективности оборудования (ОЕЕ) и потери, связанные с особенностями функционирования оборудования

Заполняем таблицу 2 исходных данных.

Расчет проводим в EXCEL.

Таблица 2

Исходные данные без дозагрузки оборудования

	Станок 1	Станок 2	Станок 3
Количество рабочих смен в сутки – $n_{см}$	1	1	1
Время, затраченное на обслуживание и ремонт оборудования (час.) – $T_{нпр}$	7	5	6
Штучное время изготовления деталей (мин.) – $t_{шт}$	4,12	9,14	2,26
Количество произведенной соответствующей продукции за период (шт.) – $n_{годн}$	97	26	194
Количество произведенной несоответствующей продукции за период (шт.) – $n_{брак}$	10	2	13

Результаты расчета OEE – рис. 8, табл. 3.

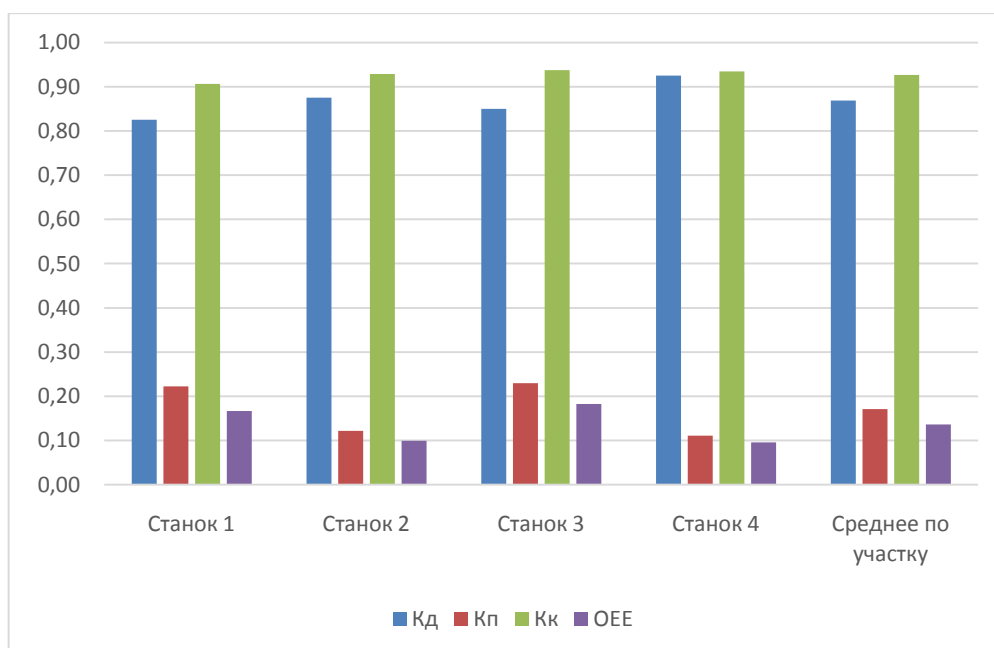


Рис. 8 Диаграмма эффективности работы оборудования на участке без учета
дозагрузки

Таблица 3

ОЕЕ без дозагрузки

	Кд	Кп	Кк	ОЕЕ
Станок 1	0,83	0,22	0,91	17%
Станок 2	0,88	0,12	0,93	10%
Станок 3	0,85	0,23	0,94	18%
Станок 4	0,93	0,11	0,93	10%
Среднее по участку	0,87	0,17	0,93	14%

Вывод. Для станка 1, 2 и 3 производим дозагрузку другими деталями.
Догружаем станки с учетом времени такта и цикла (Рис. 7):

- для станка 1 – $n_{годн}=97 \cdot 2=194$, количество произведенной несоответствующей продукции за период (шт.) – $n_{брак} = 18$;
- для станка 2 – $n_{годн}=26 \cdot 6=156$, количество произведенной несоответствующей продукции за период (шт.) – $n_{брак} = 12$;
- для станка 3 – $n_{годн}=194 \cdot 1,6=311$, количество произведенной несоответствующей продукции за период (шт.) – $n_{брак} = 18$.

Таблица 4

Исходные данные с учетом дозагрузки

	Станок 1	Станок 2	Станок 3
Количество рабочих смен в сутки – $n_{см}$	1	1	1
Время, затраченное на обслуживание и ремонт оборудования (час.) – $T_{нпр}$	7	5	6
Штучное время изготовления деталей (мин.) – $\Sigma t_{шт}$	9	12	4

Количество произведенной соответствующей продукции за период (шт.) – $n_{годн}$	194	156	400
Количество произведенной несоответствующей продукции за период (шт.) – $n_{брак}$	18	12	18

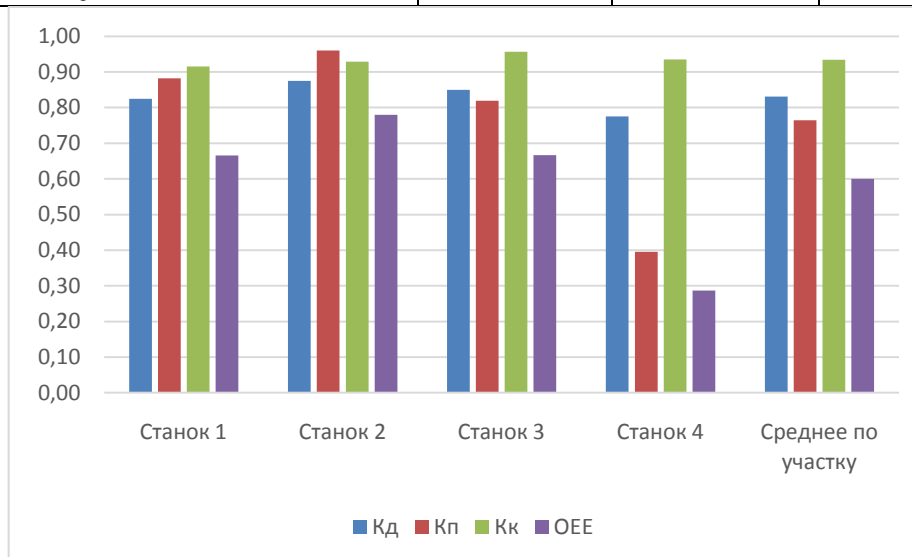


Рис. 9 Диаграмма эффективности работы оборудования на участке с учетом дозагрузки

Таблица 4

ОЕЕ с учетом дозагрузки

	Кд	Кп	Кк	ОЕЕ
Станок 1	0,83	0,88	0,92	67%
Станок 2	0,88	0,96	0,93	78%
Станок 3	0,85	0,82	0,96	67%
Станок 4	0,78	0,40	0,93	29%
Среднее по участку	0,83	0,76	0,93	60%

Делаем выводы с учетом критериев соответствия ОЕЕ (Рис. 10).



Рис.10 Критерии соответствия ОЕЕ

Выводы. Станки 1 - 3 после дозагрузки соответствуют по эффективности ОЕЕ типичному производству.

Библиографический список

1. Яцун Е.И. Эффективность станочного оборудования: методические указания для самостоятельной работы и практических занятий / Юго-Зап. гос.ун-т, Курск. 2017. – 25 с.
2. Вумек Джеймс П., Джонс Даниел Т. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М.: «Альпина Паблишер», 2011.
3. Голоктеев К., Матвеев И. Управление производством: инструменты, которые работают. СПб.: Питер, 2008.
4. Альманах Управление производством. <http://www.up-pro.ru/shop/almanach.html>
5. Персональный проект о бережливом производстве/Учебно-консалтинговый ресурс. – Режим доступа: <http://wkazarin.ru>.
6. Практика внедрения бережливого производства/Учебно-консалтинговый ресурс. – Режим доступа: <http://leanbase.ru>.
7. ГОСТ Р 56020-2014. Бережливое производство. Основные положения и словарь. – М.: Стандартинформ, 2015. – 18 с.
8. ГОСТ Р 56908-2016. Бережливое производство. Стандартизация работы.– М.: Стандартинформ, 2017. – 15 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра машиностроительных технологий и оборудования



СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ БОЛЬШИХ ВЫБОРОК

Методические указания
к выполнению практической работы
для студентов направления 15.04.05 Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств

Курск 2017

УДК 004

Составители: Е.И.Яцун

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры
«Машиностроительные технологии и оборудование»

В.В.Малыхин

Статистический анализ погрешностей механической обработки методом больших выборок/Текст/: методические указания по выполнению практической работы/сост. Е.И.Яцун; ЮЗГУ. Курск, 2017, 26 с., илл.8, табл.3, прилож.2.Библ. 6, с.19

Содержат основные задачи статистического анализа, общие теоретические сведения, исходные данные и порядок выполнения работы, варианты заданий, пример выполнения работы, справочные таблицы.

Предназначены для студентов очной и очно-заочной форм обучения направления 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств при изучении дисциплины «Эксплуатация и ремонт станочного оборудования».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/8. Печать офсетная.

Усл.печ.л. . Уч.изд.л. Тираж заказ. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет

Издательско-полиграфический центр ЮЗГУ.

305040 г.Курск, ул.50 лет Октября, 94

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	6
2 ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	8
1.1 Проверка гипотезы о законе распределения случайной величины.....	10
1.2 Определение показателей точности и стабильности технологической операции	10
1.3 Оценка достоверности показателей точности и стабильности технологических операций.....	12
1.4 Определение точности и стабильности механической обработки вала	13
1.5 Пример автоматизированного расчета	16
Контрольные вопросы.....	18
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	19
ПРИЛОЖЕНИЯ	20
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Варианты заданий	20
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Справочные таблицы.....	24

ВВЕДЕНИЕ

Для исследования точности технологических процессов в технологии машиностроения используют методы математической статистики. Эти методы используют для решения следующих основных задач:

1. Определение соответствия заданной на чертеже точности детали точности и устойчивости технологического процесса.

2. Определение суммарной погрешности обработки.

3. Установление показателей точности отдельных операций и технологического процесса в целом.

4. Оценка качества настройки и точности производственного оборудования.

Сущность статистических методов оценки точности технологических процессов изложена в специальной литературе по технологии машиностроения [2,3].

Цель работы. Изучение методики и получение практических навыков исследования точности параметров операций механической обработки деталей машин с помощью нормального закона распределения.

Порядок выполнения работы.

1. Исходные данные выборки партии деталей содержатся в табл. 1 прил. 1.
2. Построение практической кривой распределения (полигон распределения) действительных размеров партии деталей.
3. Построение полигона распределения: середины интервалов x_i откладывают по оси абсцисс, а соответствующие им частоты m_i – по оси ординат.
4. Оценка соответствия опытного распределения нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона χ^2 .
5. Для того чтобы принять или забраковать гипотезу при помощи χ^2 , установлен уровень значимости критерия (или уровень вероятности) $P = 0,05$. Вероятности $P(\chi^2)$ для различных k приведены в табл. прил. 2. Если $P(\chi^2) > 0,05$, то гипотеза принимается.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Изделия, изготовленные при одном и том же технологическом процессе, отличаются одно от другого по всем характеристикам качества. Это явление получило название рассеяние характеристик качества.

Первой характеристикой явления рассеяния служит величина меры рассеяния MP : $MP = X_{max} - X_{min}$,

(1)

где X_{max} – наибольшее значение характеристики в партии изделий; X_{min} – наименьшее значение характеристики в партии изделий.

Второй характеристикой является практическая кривая рассеяния и определяющие ее параметры. Для построения кривой рассеяния на практике измеренные значения партии заготовок разбивают на интервалы (или разряды) f и определяют количество заготовок с размерами (или частотами) mi в пределах каждого интервала. По оси абсцисс от-

кладывают интервал размеров, а по оси ординат – соответствующие им частоты.

Наиболее часто кривая рассеяния подчиняется закону нормального распределения (закону Гаусса). Результирующая погрешность обработки в этом случае представляет собой сумму большого числа погрешностей технологической системы, которые не связаны между собой и среди которых отсутствует доминирующая погрешность.

Закон нормального распределения в большинстве случаев оказывается справедлив при механической обработке заготовок с точностью 8, 9, 10 классов и грубее. При более точной обработке распределения размеров обычно подчиняется другим законам: закону Симпсона, Релея, закону равной вероятности.

Если при обработке заготовок на их точность воздействуют как случайные погрешности, так и систематические, то закон распределения представляет собой композицию нескольких законов.

Графически уравнению нормального распределения соответствует симметричная колоколообразная кривая, представленная на рис. 1.

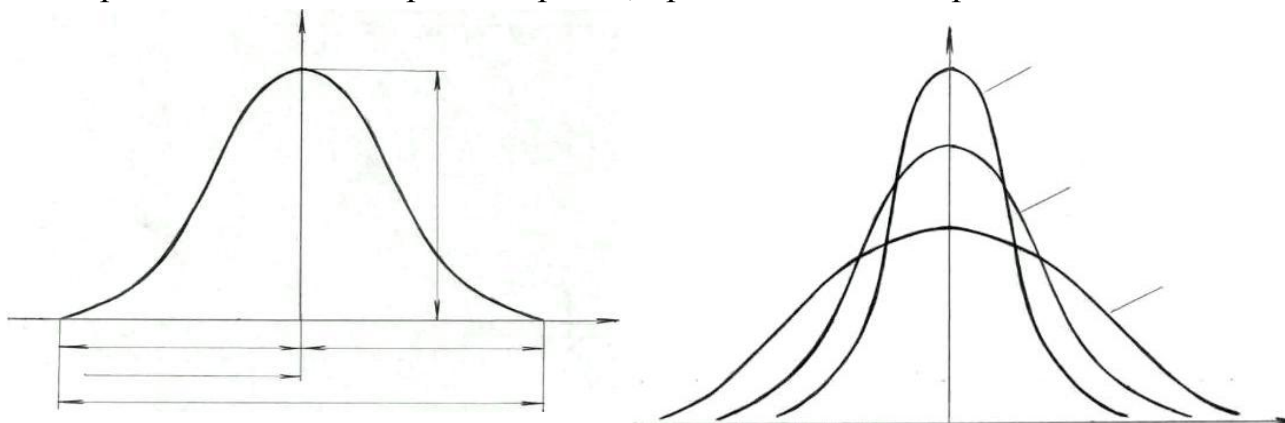


Рис. 1. Кривая нормального распределения

Рис. 2 Кривые нормального распределения при различных значениях σ

Кривая нормального распределения симметрична относительно оси ординат. При $x = \bar{x}$ кривая имеет максимум. На расстоянии $\pm 3\sigma$ от вершины ее ветви пересекаются с осью абсцисс. При этом поле рассеяния ω принимают равным 6σ , т.е. $\omega = 6\sigma$.

При увеличении σ значение y_{\max} уменьшается, а поле рассеяния ω возрастает. В результате этого кривая становится более полой и низкой, что свидетельствует о большем рассеянии размеров и, следовательно, о меньшей точности. Значит σ является мерой рассеяния или мерой точности. Влияние σ на форму кривой нормального распределения показано на рис. 2.

Для приближения оценки соответствия распределения размеров партии деталей нормальному закону производят сравнение близости практической (опытной) кривой распределения размеров с наложенной на нее теоретической кривой.

Однако необходимо иметь уверенность, что данное распределение подчиняется закону нормального распределения. Для проверки этой гипотезы пользуются рядом критериев, которые называются критериями согласия. Наибольшее применение имеют критерии А.Н. Колмогорова λ и критерий Пирсона χ^2 .

Статистический анализ точности операций механической обработки деталей в технологии машиностроения производят с помощью ряда показателей:

1. Коэффициента запаса точности на данной операции K_{ψ} .
2. Коэффициента точности настройки станка K_n .
3. Количества вероятного брака деталей q .
4. Технологического допуска $T_{техн.}$.

1 ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Основными задачами статистического анализа являются:

- выявление вида устойчивости исследуемого процесса и факторов, влияющих на величину случайных и статистических погрешностей механической обработки;
- определение показателей точности тех. процессов.

Статистический анализ точности и стабильности технологического процесса дает возможность разработки мероприятий по точности изготовления деталей в соответствии с техническими требованиями и

определения границ статистического регулирования; допусков на настройку оборудования; времени на подналадку оборудования; зависимостей между погрешностями обработки на смежных операциях.

В соответствии с ГОСТ16467-70 различают следующие методы статистического анализа.

Статистический анализ посредством мгновенной выборки из 5...20 деталей в последовательности их обработки на одном станке. Устанавливается влияние случайных факторов на качество изготовления деталей.

Статистический анализ посредством десяти и более мгновенных выборок, последовательно взятых на одном станке за межнастроечный период или за период работы новым инструментом до его замены. По выборке определяется раздельное влияние случайных и систематических факторов без учета погрешностей настройки.

Статистический анализ посредством больших выборок объемом 50..200 случайно отобранных деталей, обрабатываемых на одном или группе станков, выполняющих одну определенную операцию при нескольких настройках. В результате определяется совместное влияние случайных и систематических факторов с учетом погрешностей настройки и состояния оборудования.

Законом распределения случайной величины называется математическое описание связи между возможным значением случайной величины и соответствующими им вероятностями (частотами).

Закономерность рассеяния случайной ошибки математически описывается кривой распределения.

При анализе точности механической обработки используются следующие основные распределения:

Закон нормального распределения. Наиболее широко распространен и используется для анализа распределений погрешностей размеров, формы, шероховатости поверхности деталей, физико-механических свойств заготовок и др. Нормальному закону распределения подчиняются только непрерывные случайные величины, центры рассеяния которых во времени не смещаются.

Закон равномерного распределения. Распределение непрерывной случайной величины X на интервале (a, b) , если в этом интервале случайная величина сохраняет постоянное значение плотности распределения, а вне его равна 0. Примером закона равномерного распределения

может служить равномерно возрастающая погрешность, вызываемая износом режущего инструмента.

Закон распределения редких событий – закон Пуассона.

Закон распределения эксцентриситета – закон Релея. Применяется при анализе распределений, характеризующих отклонения эксцентриситета, отклонения формы, абсолютных значений жесткости технологической системы и др.

Закон распределения модуля разности – для случайных величин X_1 и X_2 , каждая из которых имеет нормальное распределение с параметрами \bar{X}_1 и \bar{X}_2 ;

$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_0^2$. Модуль разности $r = |X_1 - X_2|$ характеризуется определенным распределением, которое называется модулем разности. Используется при анализе погрешностей несимметрии и непараллельности плоскостей и осей, формы (овальности, конусности и др.).

1.1 Проверка гипотезы о законе распределения случайной величины

Проверка гипотезы о законе распределения случайной величины основана на сравнении эмпирического и теоретического распределений. Считается, что теоретическая кривая соответствует эмпирической, если вероятность разности их ординат или, иначе, вероятность согласия более 5%. В противном случае расхождение является существенным и следует принять другой закон распределения. Близость эмпирического распределения к теоретическому проверяется с помощью специальных критериев, называемых критериями согласия.

Критерий χ^2 Пирсона – наиболее часто употребляемый критерий. Он почти всегда обеспечивает объективность принятия или опровержения того или иного закона распределения. При $P_\chi^2 = 0,05$ гипотеза не отвергается.

1.2 Определение показателей точности и стабильности технологической операции

Определение показателей точности и стабильности технологической операции

- 1) *показатели точности тех.процесса*

а) величина абсолютного отклонения $\Delta = X_d - X_n$,
 где X_d – действительное значение параметра;
 X_n – номинальное значение параметра.

Б) коэффициент точности относительно номинального значения

$$k_{т.н.} = \Delta / X_n,$$

где Δ – погрешность параметра.

В) коэффициент точности относительно поля допуска

$$k_{т.тех.} = \sigma_{тех.} / \Delta_n,$$

где $\sigma_{тех.}$ – среднее квадратическое отклонение параметра тех. процесса;

Δ_n – поле допуска параметра.

Г) коэффициент вариации $k_b = \sigma_{тех.} / \bar{X}$,

где \bar{X} – среднее значение параметра тех. процесса.

2) *Показатели, характеризующие величину случайных и систематических погрешностей за межнастроечный период по мгновенным выборкам:*

а) показатель уровня настройки в начальный период обработки

$$k_n = \frac{X_n - \bar{X}_1}{\delta},$$

где X_n – заданный центр настройки;

\bar{X}_1 – среднее значение в 1-ой выборке;

δ – поле допуска.

Б) среднее значение или центр рассеяния $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$, если X_i измерены в абсолютных значениях;

$\bar{X} = X_0 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$, если X_i измерены в отклонениях от заданного начала отсчета X_0 .

в) показатель смещения центра рассеяния, характеризующий относительную величину систематической погрешности

$$k_y = \frac{\bar{X}_n - \bar{X}_1}{\delta},$$

где \bar{X}_n - среднее значение в последней перед новой настройкой мгновенной выборке.

Г) показатель межнастроечной стабильности, характеризующий изменение рассеяния размеров за межнастроечный период

$$k_{м.с.} = S_n / S_1,$$

где S_1, S_n – средние квадратические отклонения соответственно в 1-ой и последней мгновенных выборках.

3) Показатели рассеяния и стабильности рассеяния в выборках:

а) показатель рассеяния, характеризующий степень соответствия поля рассеяния полю допуска

$$k_p = \omega / \delta,$$

где $\omega = 6S$ – для нормального распределения;

$\omega = 5,25S$ – для закона Максвелла.

Показатель стабильности рассеяния $k_c = k_p(t_2) / k_p(t_1)$,

где $k_p(t_2)$ – показатель рассеяния ($k_p = \omega / \delta$) за период времени t_2 ;

$k_p(t_1)$ – показатель рассеяния ($k_p = \omega / \delta$) за период времени t_1 .

1.3 Оценка достоверности показателей точности и стабильности технологических операций

1) Оценка параметров распределения

Доверительный интервал для среднего значения \bar{X} , внутри которого с заданной вероятностью β лежит истинное значение \bar{X} :

$$E_x = \left(\bar{X} - \varepsilon_\beta, \bar{X} + \varepsilon_\beta \right),$$

где $\varepsilon_\beta = \frac{t_\beta \cdot S}{\sqrt{n}}$, S – среднее квадратическое отклонение; n – число наблюдений в выборке;

t_{β} - величина, определяемая при заданных вероятности β и числе степеней свободы $f=n-1$ по таблице вероятностей для t -распределения Стьюдента.

Доверительный интервал для среднеквадратического отклонения

$$E_s = \frac{S \cdot \sqrt{n}}{\sqrt{\chi_1^2}} + \frac{S \cdot \sqrt{n}}{\sqrt{\chi_2^2}}, \text{ где}$$

χ_1^2, χ_2^2 - критерии Пирсона.

2) *Оценка достоверности показателей стабильности:*

Сравнение дисперсий $F_3 = \frac{S_1^2}{S_2^2}$, где

F_3 – эмпирическое значение соотношения дисперсий;

S_1^2 - наибольшее значение дисперсии одной из двух выборок;

S_2^2 - наименьшее значение.

F_3 сопоставляется с теоретическим F_T , найденным по таблицам. При $F_3 < F_T$ достоверность показателей стабильности достаточна. При $F_3 > F_T$ систематическая погрешность значительно изменяется во времени.

1. *Оценка достоверности показателя смещения центра рассеяния* _р_ите_твляется методом сравнения средних по критерию t - Стьюдента. Если $t_{\text{расч.}} < t_{\text{табл.}}$. При $P > 0,05$, то влияние систематической погрешности несущественно и они практически не приводят к смещению центра рассеяния. Метод используется, если дисперсии соответствующих выборок различаются мало.

1.4 Определение точности и стабильности механической обработки вала

Пример.

С целью определения точности и стабильности токарной обработки вала $D_{+0.27}^{+0.22}$ произведена выборка случайно отобранных деталей, обрабатываемых на станке при нескольких настройках.

Измерение параметра качества детали производилось в отклонениях от

D=180 мм индикаторной скобой с ценой деления 2 мкм.

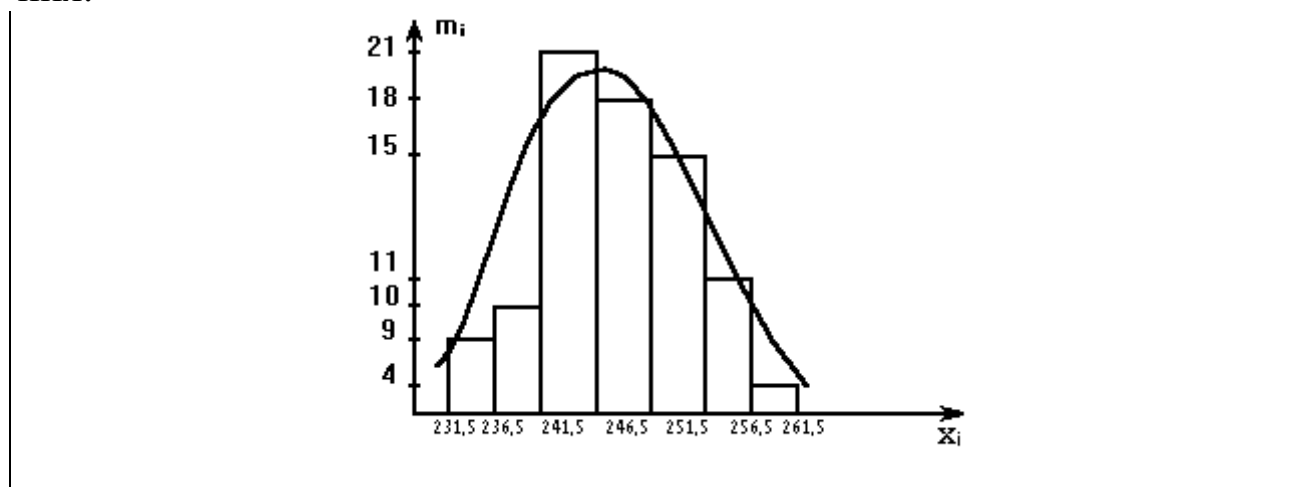
Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты измерений

Интервал отклонений	Δ , мкм	Середина интервала X_i	Частота появления m_i
229	234		9
234	239		10
239	244		21
244	249		18
249	254		15
254	259		11
259	264		4
			$\sum m_i = N = 88$

1. По данным X_i и m_i строится полигон эмпирического распределения:



2. В качестве гипотезы теоретического распределения частот исследуемого параметра принимаем закон нормального распределения.

3. Проверяем эту гипотезу. Процесс построения теоретического распределения называется выравниванием. Он заключается в определении теоретических частот:

$$m'_i = \frac{h \sum m_i}{S} * \varphi(t),$$

где h – ширина интервала (здесь $h=5$);

S – среднее квадратическое отклонение по эмпирическому распределению;

$\varphi(t)$ - плотность теоретического распределения;

$\sum m_i = N$ - объем выборки (здесь $N=88$).

Среднее квадратическое отклонение:

$$S = h * \sqrt{a_2 - a_1^2} ;$$

$$a_1 = \frac{\sum m_i x_i'}{\sum m_i} ;$$

$$a_2 = \frac{\sum m_i (x_i')^2}{\sum m_i} ;$$

$$x_i' = \frac{(x_i - x_0)}{h} .$$

$$X_0 = 241,5 \text{ мкм}$$

x_0 – новое начало отчета, за которое обычно принимают середину интервала, имеющую наибольшую частоту.

$\bar{x} = x_0 + a_1 h$ - среднее значение совокупности x_i

$$S = h * \sqrt{a_2 - a_1^2} ,$$

Таблица 2

Результаты расчетов

Середина интервала x_i	Частота появления m_i	x_i'	$m_i x_i'$	$m_i (x_i')^2$	$t_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}$	$\varphi(t_i)$	$\frac{h}{s} \varphi(t_i)$	$m_i' = \frac{h \sum m_i}{s} \varphi(t_i)$
231,5	9	-2	-18	36	-1,712	0,09 25	0,05 70	5,0
236,5	10	-1	-10	10	-1,096	0,21 79	0,13 42	11,8
241,5	21	0	0	0	-0,480	0,35 55	0,21 9	19,3
246,5	18	1	18	18	0,136	0,39 51	0,24 34	21,4
251,5	15	2	30	60	0,751	0,30 11	0,18 55	16,3
256,5	11	3	33	99	1,367	0,15 61	0,09 62	8,5
261,5	4	4	16	64	1,983	0,05	0,03	3,0

						62	46	
N	88		69	287				

$$a_1 = 0,784; \quad a_2 = 3,26;$$

$$\bar{x} = 245,4 \text{ мкм}; \quad S = 8,12 \text{ мкм}.$$

Для проверки гипотезы о соответствии эмпирического распределения по нормальному закону распределения используем критерий χ^2 Пирсона (критерий согласия) :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^7 (m_i - m'_i)^2 / m_i ;$$

$$\chi^2 = 3,81$$

число степеней свободы k:

$$k = n - 1 = 7 - 1 = 6.$$

По таблице $P_{\chi^2} = 0,4232 > 0,05$.

Поэтому гипотеза о нормальном распределении справедлива .

4. Оцениваем точность и стабильность технологической операции.

Определяем показатель рассеяния k_p , характеризующий степень соответствия поля рассеяния полю допуска:

$$k_p = \frac{\omega}{\delta} = \frac{6S}{\delta} = \frac{6 \cdot 8,12}{50} = 0,97$$

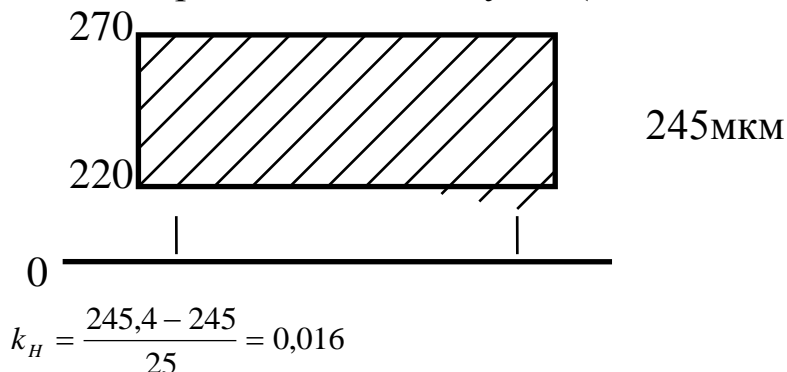
($\delta = 0,05 \text{ мм} = 50 \text{ мкм}$)

Так как $k_p < 1$, то точность технологического процесса достаточная.

Определяем показатель, характеризующий точность настройки :

$$k_H = \frac{\bar{x} - \Delta_T}{\delta/2},$$

где Δ_T -координата середины поля допуска ($\Delta_T = 245$).



Если $k_H \leq 1 - k_p$, то точность настройки станка считается нормальной.

$0,016 < 1 - 0,97$.

1.5 Пример автоматизированного расчета

Исходные данные

Чертежный размер, мм: 180

Отклонения: $+0,27$ es / ES, $+0,22$ ei / EI

Параметры замеров: Число интервалов: 5, Исходное значение, мм: 229, Шаг, мм: 5

Результаты измерений:

Интервал откл.	Delta, мм	Середина инт. Xi	Частота ni

Проверка гипотезы о нормальном распределении: Далее >>

Диагр

Рисунок 1. Заполнение окна «Номинальный размер» и «Предельные отклонения»

Исходные данные

Чертежный размер, мм: 180

Отклонения: $+0,27$ es / ES, $+0,22$ ei / EI

Параметры замеров: Число интервалов: 7, Исходное значение, мм: 229, Шаг, мм: 5

Результаты измерений:

Интервал откл.	Delta, мм	Середина инт. Xi	Частота ni
229	234	231,5	2
234	239	236,5	4
239	244	241,5	10
244	249	246,5	20
249	254	251,5	
254	259	256,5	
259	264	261,5	

Проверка гипотезы о нормальном распределении: Далее >>

Диагр

Рисунок 2. Заполнение таблицы «Результаты измерений»

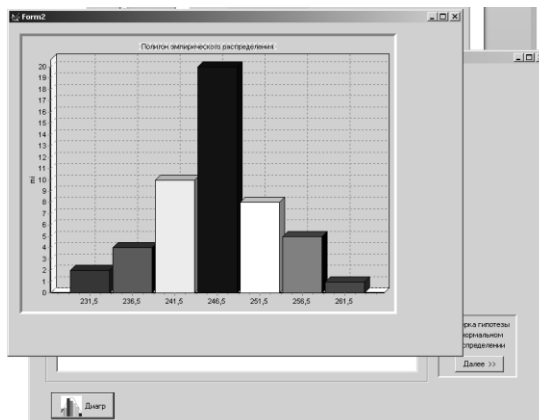


Рисунок 3. Полигон эмпирического распределения отклонений размера

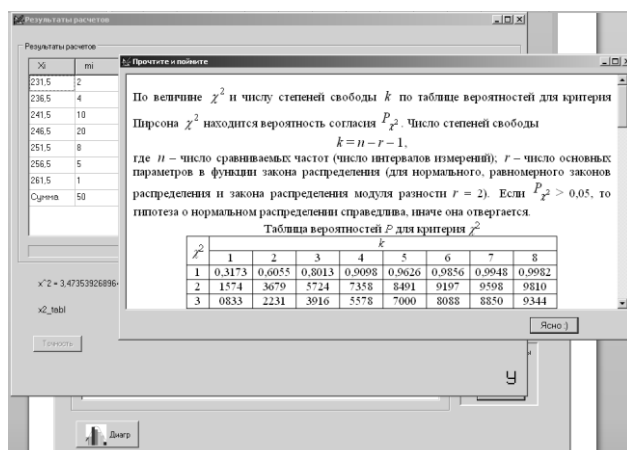


Рисунок 5. Проверка о соответствии гипотезы эмпирического распределения нормативному закону распределения

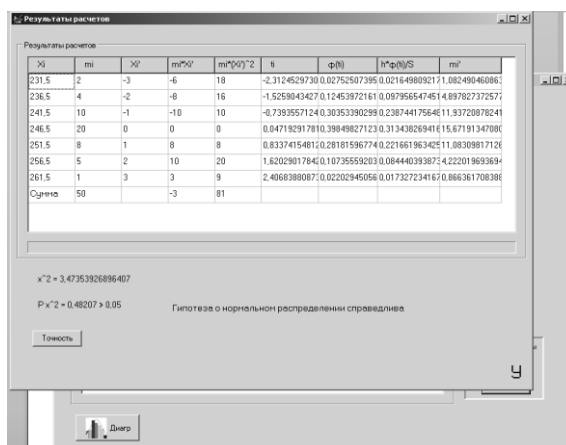


Рисунок 6. Оценка точности и стабильности операции

Оцениваем точность и стабильность технологической операции:

- определяем показатель рассеяния k_p , характеризующий степень соответствия поля рассеяния полю допуска:

$$k_p = \frac{\omega}{\delta} = \frac{6S}{\delta}$$

Если $k_p < 1$, то точность технологического процесса достаточная.

- определяем показатель, характеризующий точность настройки:

$$k_n = \frac{\bar{x} - \Delta T}{\delta/2}$$

Если $k_n \leq 1 - k_p$, то точность настройки станка считается нормальной.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные задачи статистического анализа в машиностроении.
2. Какие погрешности обработки относятся к случайным?
3. Какие погрешности обработки относятся к систематическим?
4. Каковы цели статистического анализа точности и стабильности технологического процесса?
5. Перечислите методы статистического анализа в соответствии с ГОСТ16467.
6. Как производится статистический анализ посредством мгновенной выборки?
7. Влияние каких факторов на качество изготовления деталей устанавливается при проведении статистического анализа посредством мгновенной выборки?
8. Как производится статистический анализ посредством десяти и более мгновенных выборок?
9. Влияние каких факторов на качество изготовления деталей из десяти и более мгновенных выборок?
10. Как производится статистический анализ посредством больших выборок?
11. Влияние каких факторов на качество изготовления деталей устанавливается при проведении статистического анализа посредством больших выборок?
12. Какой статистический метод следует выбрать, если устанавливается влияние только случайных факторов на качество изготовления деталей?
13. Какой объем выборки следует взять, если устанавливается влияние только случайных факторов на качество изготовления деталей?
14. Какой статистический метод следует выбрать, если устанавливается влияние случайных и систематических факторов без учета погрешностей настройки на качество изготовления деталей?
15. Какой объем выборки следует взять, если устанавливается влияние только случайных факторов и систематических на качество изготовления деталей?
16. Какой статистический метод следует выбрать, если определяется совместное влияние случайных и систематических факторов с учетом погрешностей настройки и состояния оборудования?

17. Какой объем выборки следует взять, если устанавливается совместное влияние случайных и систематических факторов с учетом погрешностей настройки и состояния оборудования?
18. Что такое закон распределения случайной величины?
19. Как проводится проверка гипотезы о законе распределения случайной величины?
20. Как определить критерий χ^2 Пирсона?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Анализ, синтез и производство технических систем** [Текст] : учебное пособие / под общ. ред. проф. П. Н. Учаева. - Старый Оскол : ТНТ, 2014. - 172 с..
2. **Оптимизация прикладных задач. Вводный курс** [Текст] : [учебное пособие для студентов вузов, обуч. по направлению подготовки "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств"] / П. Н. Учаев [и др.] ; под ред. проф. П. Н. Учаев. - Старый Оскол : ТНТ, 2016. - 288 с.
3. **Барботько, Анатолий Иванович.** Основы теории математического моделирования [Текст]: [учебное пособие для студентов высших учебных заведений по направлению "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств"] / А. И. Барботько, А. О. Гладышкин. - Старый Оскол : ТНТ, 2014. - 212 с..
4. **Старков, В. К.** Обработка резанием [Текст]: управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве / В. К. Старков. - М. : Машиностроение, 1989. - 296 с.
5. **Шенк, Х.** Теория инженерного эксперимента [Текст] : пер. с англ. / под ред. Н. П. Бусленко. - Москва : Мир, 1972. - 381 с..
3. **Браунли, К. А.** Статистическая теория и методология в науке и технике [Текст] : пер. с англ. / К. А. Браунли. - Москва : Наука, 1977. - 407 с. - Б. ц.
6. **Долинский, Е. Ф.** Обработка результатов измерений [Текст] / Е. Ф. Долинский. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Изд-во стандартов, 1973. - 191 с.
7. **Дрейпер Н.** Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. [Текст] / Н. Дрейпер ; Пер. с англ. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Финансы и статистика, 1986 - .Кн. 2. - 349 с.
8. **Солонин, И. С.** Математическая статистика в технологии машиностроения [Текст] / И. С. Солонин. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1972. - 215 с

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Вариант	Интервал отклонений	Δ , мкм	Частота появления m_1
1	228	233	8
	233	238	9
	238	243	20
	243	248	17
	248	253	14
	253	258	10
	258	263	3
2	229	233	9
	233	239	9
	239	243	21
	243	249	17
	249	253	15
	253	259	10
	259	263	4
3	228	234	8
	234	238	10
	238	244	20
	244	248	18
	248	254	14
	254	258	11
	258	264	3
4	229	234	9
	234	239	10
	239	244	20
	244	249	17
	249	254	15
	254	259	11
	259	264	3
5	227	233	9
	233	237	9
	237	243	20
	243	247	18
	247	253	14
	253	257	10

	257	263	4
6	226	234	8
	234	236	10
	236	244	21
	244	246	17
	246	254	15
	254	256	11
	256	264	3
Вариант	Интервал отклонений	Δ , мкм	Частота появления m_1
7	219	224	7
	224	229	8
	229	234	19
	234	239	16
	239	244	13
	244	249	9
	249	254	2
8	218	223	6
	223	228	7
	228	243	18
	243	238	15
	238	243	12
	243	248	8
	248	253	1
9	219	223	7
	223	229	7
	229	233	19
	233	239	15
	239	243	13
	243	249	8
	249	253	2
10	217	223	6
	223	227	7
	227	233	19
	233	237	16
	237	243	12
	243	247	8
	247	253	2
11	218	224	7
	224	228	8
	228	234	18
	234	238	16
	238	244	16
	244	248	13
	248	254	8
12	217	222	9
	22	227	10
	227	232	21
	232	237	18

	237	242	15
	242	247	11
	247	252	4
13	219	222	7
	222	229	10
	229	232	19
	232	239	18
	239	242	13
	242	249	11
	249	252	2
Вариант	Интервал отклонений	Δ , мкм	Частота появления m_1
14	217	224	8
	224	227	8
	227	234	21
	234	237	16
	237	244	15
	244	247	9
	247	254	4
15	216	222	9
	222	226	10
	226	232	19
	232	236	16
	236	242	15
	242	246	11
	246	252	2
16	219	224	7
	224	229	8
	229	234	21
	234	239	18
	239	244	13
	244	249	9
	249	254	4
17	217	222	9
	222	227	10
	227	232	19
	232	237	18
	237	242	15
	242	247	9
	247	252	4
18	209	214	9
	214	219	10
	219	224	21
	224	229	18
	229	234	15
	234	239	11
	239	244	4
19	209	215	9

	215	219	11
	219	225	21
	225	229	19
	229	235	15
	235	239	11
	239	245	5
Вариант	Интервал отклонений	Δ , мкм	Частота появления m_1
20	210	214	10
	214	220	10
	220	224	22
	224	230	18
	230	234	16
	234	240	11
	240	244	5
21	210	215	10
	215	220	11
	220	225	22
	225	230	19
	230	235	16
	235	240	12
	240	245	5
22	208	214	9
	214	218	10
	218	22	21
	22	228	15
	228	234	11
	234	238	18
	238	244	2

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

Таблица П2.1

χ^2 -РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

В таблице приведены значения (в процентах) квантилей $\chi^2_{1-\alpha}(m)$ в зависимости от числа степеней свободы m и вероятности α .

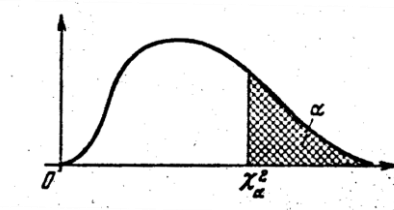


Рис. П2.1

α	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30
1	0,00016	0,0006	0,0039	0,016	0,064	0,148	0,455	1,07
2	0,020	0,040	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,41

3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,67
4	0,30	0,43	0,71	1,06	1,65	2,19	3,36	4,9
5	0,55	0,75	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,1
6	0,87	1,13	1,63	2,20	3,07	3,83	5,35	7,2
7	1,24	1,56	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,4
8	1,65	2,03	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,5
9	2,09	2,53	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,7
10	2,56	3,06	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,8
11	3,1	3,6	4,6	5,6	7,0	8,1	10,3	12,9
12	3,6	4,2	5,2	6,3	7,8	9,0	11,3	14,0
13	4,1	4,8	5,9	7,0	8,6	9,9	12,3	15,1
14	4,7	5,4	6,6	7,8	9,5	10,8	13,3	16,2
15	5,2	6,0	7,3	8,5	10,3	11,7	14,3	17,3
16	5,8	6,6	8,0	9,3	11,2	12,6	15,3	18,4
17	6,4	7,3	8,7	10,1	12,0	13,5	16,3	19,5
18	7,0	7,9	9,4	10,9	12,9	14,4	17,3	20,6
19	7,6	8,6	10,1	11,7	13,7	15,4	18,3	21,7
20	8,3	9,2	10,9	12,4	14,6	16,3	19,3	22,8
21	8,9	9,9	11,6	13,2	15,4	17,2	20,3	23,9
22	9,5	10,6	12,3	14,0	16,3	18,1	21,3	24,9
23	10,2	11,3	13,1	14,8	17,2	19,0	22,3	26,0
24	10,9	12,0	13,8	15,7	18,1	19,9	23,3	27,1
25	11,5	12,7	14,6	16,5	18,9	20,9	24,3	28,2
26	12,2	13,4	15,4	17,3	19,8	21,8	25,3	29,2
27	12,9	14,1	16,2	18,1	20,7	22,7	26,3	30,3
28	13,6	14,8	16,9	18,9	21,6	23,6	27,3	31,4
29	14,3	15,6	17,7	19,8	22,5	24,6	28,3	32,5
30	15,0	16,8	18,5	20,6	23,4	25,5	29,3	33,5

Продолжение таблицы П2.1

 χ^2 -РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

α								
m	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001
1	1,64	2,7	3,8	5,4	6,6	7,9	9,5	10,83
2	6,22	4,6	5,9	7,8	9,2	10,6	12,4	13,8
3	4,64	6,3	7,8	9,8	11,3	12,8	14,8	16,3
4	6,0	7,8	9,5	11,7	13,3	14,9	16,9	18,5
5	7,3	9,2	11,1	13,4	15,1	16,8	18,9	20,5
6	8,6	10,6	12,6	15,0	16,8	18,5	20,7	22,5
7	9,8	12,0	14,1	16,6	18,5	20,3	22,6	24,3
8	11,0	13,4	15,5	18,2	20,1	22,0	24,3	26,1
9	12,2	14,7	16,9	19,7	21,7	23,6	26,1	27,9
10	13,4	16,0	18,3	21,2	23,2	25,2	27,7	29,6
11	14,6	17,3	19,7	22,6	24,7	26,8	29,4	31,3
12	15,8	18,5	21,0	24,1	26,2	28,3	30,9	32,9

13	17,0	19,8	22,4	25,5	27,7	29,8	32,5	34,5
14	18,2	21,1	23,7	26,9	29,1	31,3	34,0	36,1
15	19,3	22,3	25,0	28,8	30,6	32,8	35,6	37,7
16	20,5	23,5	26,3	29,6	32,0	34,3	37,1	39,3
17	21,6	24,8	27,6	31,0	33,4	35,7	38,6	40,8
18	22,8	26,0	28,9	32,3	34,8	37,2	40,1	42,3
19	23,9	27,2	30,1	33,7	36,2	38,6	41,6	43,8
20	25,0	28,4	31,4	35,0	37,6	40,0	43,0	45,3
21	26,2	29,6	32,7	36,3	38,9	41,4	44,5	46,8
22	27,3	30,8	33,9	37,3	40,3	42,8	45,9	48,3
23	28,4	32,0	35,2	39,0	41,6	44,2	47,8	49,7
24	29,6	33,2	36,4	40,3	43,0	45,6	48,7	51,2
25	30,7	34,4	37,7	41,6	44,3	46,9	50,1	52,6
26	31,8	35,6	38,9	42,9	45,6	48,3	51,6	54,1
27	32,9	36,7	40,1	44,1	47,0	49,6	52,9	55,5
28	34,0	37,9	41,3	45,4	48,3	51,0	54,4	56,9
29	35,1	39,1	42,6	46,7	49,6	52,3	55,7	58,3
30	36,3	40,3	43,8	48,0	50,9	53,7	57,1	59,7