

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Ильшат Ринатович Мухаметзянов

Должность: директор

Дата подписания: 2023.04.24

Уникальный программный ключ:

aba80b84033c9ef196388e9ea0434f90a83a40954ba270e84bcb64f02d1d8d0

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

Чистопольский филиал «Восток»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
по дисциплине
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Индекс по учебному плану: **Б1.В.ДВ.06.02**

Направление подготовки: **12.03.01 Приборостроение**

Квалификация: **Бакалавр**

Профиль подготовки: **Приборостроение**

Типы задач профессиональной деятельности: **проектно-конструкторская,
производственно-технологическая**

Рекомендовано УМК ЧФ КНИТУ-КАИ

Чистополь
2023 г.

Лабораторная работа №1

Технологического процесса изготовления детали электронного средства

1. Цель работы

Приобретение студентами навыков разработки маршрута обработки детали, оформления технологической документации.

2. Основные сведения из теории

Разработка технологического маршрута обработки детали

Различают три вида технологических процессов: единичный, типовой, групповой.

Единичный технологический процесс (ТП) разрабатывается для изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства.

Типовой технологический процесс разрабатывается для обработки любой детали одной классификационной группы для заданных производственных условий.

Типизация деталей способствует внедрению типовых технологических процессов, позволяет значительно снизить трудоемкость изделий, сократить цикл подготовки производства, создать единые технически обоснованные нормы.

Групповые технологические процессы – разрабатывается для групп деталей, для обработки которых требуются однотипное оборудование, общие приспособления и настройка станка. При групповом методе в основу положен принцип классификации деталей по видам обработки и по общности технологического маршрута.

Порядок проектирования технологических процессов

Разработка технологического процесса механической обработки детали заканчивается составлением и оформлением комплекта документов технологического процесса. Комплект технологических документов зависят от вида технологического процесса (единичный, типовой или групповой) и типа производства.

В маршрутном технологическом процессе это сокращенное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов. Применяется в единичном и мелкосерийном типах производства.

В операционном технологическом процессе это полное описание всех технологических операций в последовательности их выполнения с указанием переходов и технологических режимов. Применяется в крупносерийном и массовом типах производства.

В маршрутно-операционном технологическом процессе это сокращенное описание технологических операций в маршрутной карте, но полное описание отдельных операций.

Маршрутная карта (МК) является основным и обязательным документом любого технологического процесса.

Общие положения по составлению технологического маршрута обработки.

При разработке маршрута изготовления детали и его структуры рекомендуется следующая последовательность работы:

1. Обработка исходной информации. Исходная информация делится на базовую, руководящую и справочную.

Базовая информация – это конструкторская документация (чертежи, ТУ и др.) и производственная программа (годовая величина партий и т.п.) для определения типа производства.

Руководящая информация – это государственные стандарты - ЕСТП, ЕСТД, ОСТы и стандарты предприятий (СТП) классификаторы деталей и операций, трудовые нормативы, действующие унифицированные технологические процессы, инструкции и т.д.

Справочная информация – это справочники, каталоги, паспорта оборудования, различные пособия и т.п. в том числе справочные таблицы по припускам, режимам резания и т.д.

2. Обработка конструкций деталей на технологичность с учётом типа производства. Технологичность – это совокупность свойств, обеспечивающая в заданных условиях производства и эксплуатации наименьшие затраты труда, средств, материалов и времени при технологической подготовке производства, изготовлении и ремонте изделия.

3. Выбор вида технологического процесса по следующим показателям:

– по методу разработки – унифицированный (типовой или групповой) или единичный технологический процесс;

– по назначению – проектный (разрабатывается без «привязки» к конкретному предприятию), рабочий (можно запускать в производство) или перспективный (необходимо выполнить определенные научно-исследовательские работы и внедрить его в производство);

– по степени детализации оформления – маршрутный, маршрутно-операционный или операционный.

4. Выбор заготовки.

5. Выбор комплекта технологических баз.

6. Разработка маршрута обработки детали и определение последовательности обработки поверхности.

Последовательность операций назначают исходя из следующих основных положений:

– в первую очередь обрабатываются поверхности, которые будут являться технологическими базами для последующих операций;

– операции, на которых возможно появление брака из-за внутренних дефектов заготовки, нужно выполнять на ранних стадиях обработки;

– первыми следует обрабатывать поверхности, не требующие высокой точности;

– отверстия сверлятся в конце технологического процесса, за исключением тех случаев, когда они служат базами;

– заканчивается процесс изготовления детали обработкой той поверхности, которая должна быть наиболее точной и имеет основное значение для эксплуатации детали. Если она была обработана ранее, до выполнения других смежных операций, может возникнуть необходимость в ее повторной обработке;

– если деталь подвергается термической обработке по ходу технологического процесса, механическая обработка разбивается на две части: до термической обработки и после нее;

– технический контроль намечают после тех операций, где вероятно повышенная доля брака, перед ответственными операциями, а также в конце обработки детали.

В содержании технологической операции необходимо указывать все элементы операции, выполняемые в технологической последовательности по обработке изделия. При записи содержания операции допускается полная или сокращенная форма записи. При наличии графических изображений, которые достаточно полно отражают всю необходимую информацию по обработке заготовки, следует использовать сокращенную запись, например:

“Сверлить 4 отв. $d = 12^{+0,1}$ согласно чертежу”. Полную запись следует выполнять при отсутствии графических изображений.

Порядок формирования записи содержания перехода условно выражается в виде следующего кода:

- 1) ключевое слово (зенкеровать, нарезать и т.д.);
- 2) наименование предметов производства, обрабатываемых поверхностей, конструктивных элементов (выточка, буртик, зуб и т.д.);
- 3) условное обозначение размеров и конструктивных элементов.

В записи операции или технологического перехода не рекомендуется указывать шероховатость обрабатываемых поверхностей.

Допускаются в текстовой записи информации сокращения слов и словосочетаний в соответствии с ГОСТ 3.1702 - 79. Дополнительная информация при записи операций и переходов выбирается разработчиком документов по ГОСТ 3.1702 - 79.

Данный этап является наиболее важным. Каждая технологическая операция может быть описана на отдельном документе - на операционной карте. Операционный эскиз служит графической иллюстрацией по обработке детали. На эскизе изображается деталь после данной операции. Эскиз - это чертеж детали после данной операции с указанием допусков, шероховатости и условных обозначений установочных и опорных поверхностей. В тех случаях, когда эскиз очень сложен, он может выполняться и на отдельном листе, в виде приложения к операционной карте.

7. Расчет припусков. Припуск – это слой материала заранее оставленный для последующего снятия на другой операции. Нередко недостаточная плоскостность, прямолинейность, соосность поверхностей и т.п. не позволяют применять такие поверхности без дополнительной обработки. Слой материала, подлежащий удалению в процессе обработки данной поверхности с целью получения требуемой формы, размеров и шероховатости, называется припуском. Припуск измеряется в направлении перпендикулярном к обрабатываемой поверхности и измеряется в мм.

8. Выбор или проектирование оборудования. Выбор оборудования зависит от: типа производства, применения унифицированных технологических процессов, размеров детали, требуемой точности и шероховатости и др. существующие производственные условия - наличие оборудования, его загрузку и т.п.

9. Расчет режимов резания.

10. Выбор или проектирование оснастки.

11. Расчет норм времени на изготовление детали.

12. Разработка указаний по технике безопасности и охране окружающей среды. Данные указания в обязательном порядке приводятся в каждом технологическом процессе на основании действующих нормативных требований.

13. Оформление технологического процесса.

Комплект форм документов, применяемых на предприятии, может содержать формы общего назначения, формы специального назначения и прочие формы технологических документов.

3. Примеры решения задач

Пример 1. Разработать маршрут обработки детали (Рис.1), выбрать заготовку, выбрать режимы резания, оформить маршрутную карту. Материал ЛС59-1. Неуказанные предельные отклонения Н12, h12, ±IT12/2.

Решение:

1. Выбор заготовки

Выбираем заготовку из проката. Рассчитаем диаметр заготовки. Диаметр детали 6мм, допуск на размер h12. Согласно табл. приложения 2 выбираем материал:

Пруток ДКРНТ 6 НД ЛС 59-1 ГОСТ 2060-90.

Выбираем пруток нормальной точности $6_{-0,12}$.

Рассчитаем длину заготовки. Так как допуск на длину достаточно большой (12 квалитет) и особых требований нет берем длину заготовки равную длине детали 12мм.

$$L_з = L_д + 2 \cdot z_{\text{подр}} + z_{\text{зажима}} = 12 + 0,0 = 12 \text{ мм,}$$

где $L_д$ – номинальная длина детали по рабочему чертежу, мм.

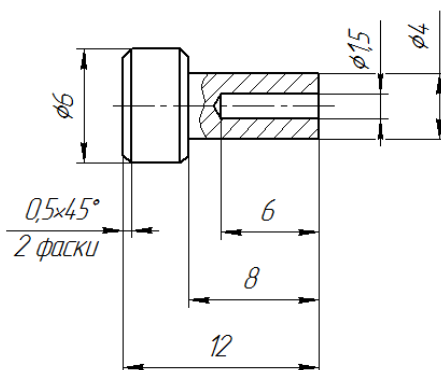
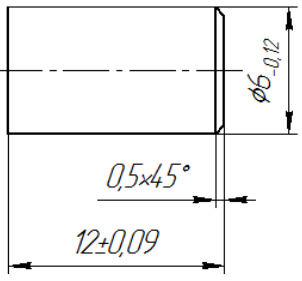


Рисунок 1 – Ось

2. Разработка маршрута обработки и выбор режимов резания

Маршрут обработки и режимы резания представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Маршрут обработки детали «Втулка»

№ п/п	Наименование операции и эскиз	Описание операции	Режимы резания
1	Токарная 	Отрезать заготовку, выдерживая размер 12 мм. Точить фаску 0,5x45°	$S = 0,11 \text{ мм/об}$ (см. прил.); $v = 100 \text{ м/мин}$ (см. прил.); $n = \frac{1000 \cdot 100}{3,14 \cdot 6} = 5307 \text{ об/мин,}$ округляем до $n = 1600 \text{ об/мин.}$
2	Токарная	Точить поверхность, выдерживая $\varnothing 4 \text{ мм}$ на длине 8,4 мм. Точить фаску 0,5x45°	$S = 0,07 \text{ мм/об}$ (см. прил.); $v = 100 \text{ м/мин}$ (см. прил.); $n = \frac{1000 \cdot 100}{3,14 \cdot 6} = 5307 \text{ об/мин,}$ округляем до $n = 1000 \text{ об/мин.}$

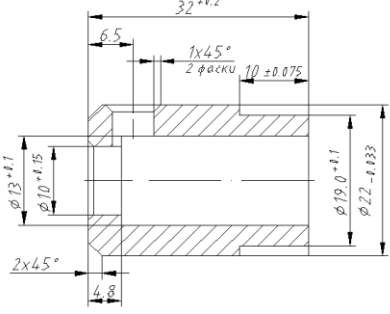
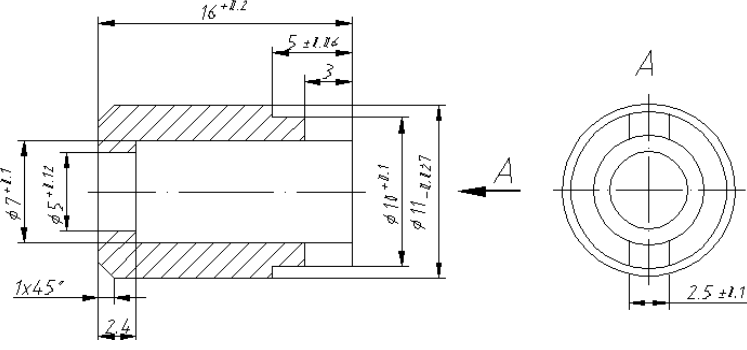
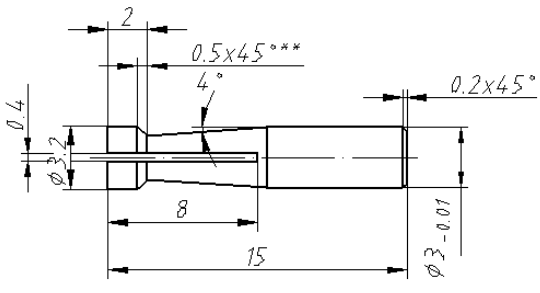
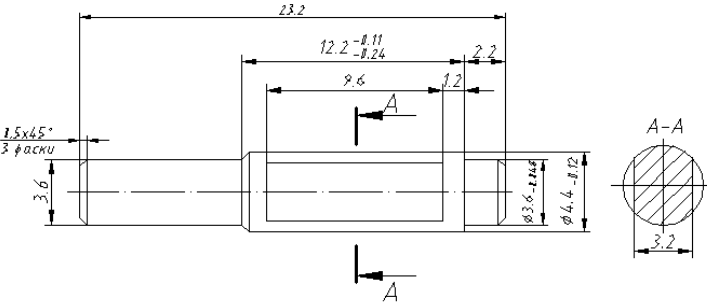
3	Сверлильная 	Сверлить отверстие выдерживая размеры $\phi 1,5$ мм на длине 6 мм	$S = 0,09$ мм/об (см. прил.3); $v = 60$ м/мин (см. прил.4); $n = \frac{1000 \cdot 60}{3,14 \cdot 6} = 3184$ об/мин, округляем до $n = 1000$ об/мин.

4. Задание для самостоятельного выполнения

1. Ознакомиться с теоретическим содержанием работы и примерами решения задач.
2. Получить вариант задания (см. табл. 5).
3. Осуществить выбор заготовки. Определить диаметр и длину заготовки.
4. Разработать технологический процесс обработки (последовательность технологических операций, технологические переходы в каждой операции, операционные эскизы с указанием схем базирования).
5. Указать режимы резания.
6. Оформить операционную карту.

Таблица 5 – Задание

Вариант	Эскиз детали
Вариант 1	<p>Неуказанные предельные отклонения H14, h14, \pmIT14/2</p>

<p>Вариант 2</p>	 <p>Неуказанные предельные отклонения Н12, h12, ±JT12/2</p>
<p>Вариант 3</p>	 <p>Неуказанные предельные отклонения Н10, h10, ±JT10/2</p>
<p>Вариант 4</p>	 <p>Неуказанные предельные отклонения Н12, h12, ±JT12/2</p>
<p>Вариант 5</p>	 <p>Неуказанные предельные отклонения Н12, h12, ±JT12/2</p>

5. Контрольные вопросы

1. Виды заготовок.
2. Методы литья деталей.
3. Точность, получаемая при различных методах литья.
4. Этапы расчета норм расхода материала.
5. Основные потери материала.
6. Коэффициент использования материала.
7. Порядок проектирования технологических процессов.
8. Виды исходной информации: базовая, руководящая, справочная.

9. Технологичность изделия.
10. Маршрутный, маршрутно-операционный или операционный технологический процесс.
11. Припуск на обработку.
12. Порядок формирования записи содержания перехода в операции.
13. Поверхности, получаемые при токарной обработке.
14. Поверхности, получаемые при фрезерной обработке.
15. Операции, выполняемые на сверлильных станках.

Промежуточные припуски на обработку наружных цилиндрических поверхностей

Диаметр заготовки, мм	Операция	Припуск на диаметр при расчетной длине, мм								
		До 25	26-63	63-100	100-160	160-260	250-400	400-630	630-1000	1000-1600
До 6	Точение черновое	2,5	2,6	2,5	3,0	3,0	3,5		-	-
	Точение чистовое	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1		-	-
	Шлифование	<u>0,25</u>	<u>0,26</u>	<u>0,25</u>	<u>0,25</u>	<u>0,3</u>	<u>0,4</u>	<u>0,4</u>	<u>0,4</u>	-
		0,30	0,30	0,30	0,30	0,4	0,4	0,5	-	-
6-10	Точение черновое	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-
	Точение чистовое	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	-
	Шлифование	<u>0,26</u>	<u>0,26</u>	<u>0,26</u>	<u>0,26</u>	<u>0,3</u>	<u>0,4</u>	-	-	-
		0,30	0,30	0,30	0,40	0,4	0,4			
10 - 18	Точение черновое	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5	4,0	-	-
	Точение чистовое	1,2	1,2	1,2	1,5	1,6	1,6	1,5	2,0	-
	Шлифование	<u>0,3</u>	<u>0,3</u>	<u>0,3</u>	<u>0,3</u>	<u>0,3</u>	<u>0,4</u>	<u>0,4</u>	0,4	0,5
		0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5		
18- 30	Точение черновое	3,6	3,5	3,6	3,5	3,5	3,5	4,0	5,0	5,0
	Точение чистовое	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5
	Шлифование	<u>0,3</u>	<u>0,3</u>	<u>0,3</u>	<u>0,3</u>	<u>0,4</u>	<u>0,4</u>	<u>0,5</u>	<u>0,5</u>	<u>0,6</u>
		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7

1. В числителе даны припуски для незакаленных деталей, в знаменателе - для закаленных.
2. При обработке с уступами припуск назначается по отношению к общей длине детали.

Припуски на чистовое подрезание торцов и уступов

Диаметр заготовки, мм	Общая длина заготовки, мм					
	До 18	18-50	50-120	120-260	260-500	Св.500
До 30	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2
30-50	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2
50-120	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,3
120-300	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,5

Сталь калиброванная круглая. Сортамент. ГОСТ 7417-75

Диаметр, мм	Предельное отклонение, мм			
	$h9$	$h10$	$h11$	$h12$
3,0	-0,025	-0,040	-0,060	-0,100
5,0; 5,2; 5,3; 5,4; 5,5; 5,6; 5,8; 6,0	-0,030	-0,048	-0,075	-0,120
6,1; 6,3; 6,5; 6,7; 6,9; 7,0; 7,1; 7,3; 7,5; 7,7; 7,8; 7,8; 8,0; 8,2; 8,5; 8,8; 9,0; 9,2; 9,3; 9,5; 9,8; 10,0	-0,036	-0,058	-0,090	-0,150
10,2; 10,5; 10,8; 11,0; 11,2; 11,5; 11,8; 12,0; 12,2; 12,5; 12,8 13,0; 13,2; 13,5; 13,8; 14,0; 14,2; 14,5; 14,8; 15,0; 15,2; 15,5; 15,8; 16,0; 16,2; 16,5; 16,8; 17,0; 17,2; 17,5; 17,8; 18,0	-0,043	-0,070	-0,110	-0,18
18,5; 19,0; 19,5; 20,0; 20,5; 21,0; 21,5; 22,0; 23,0; 24,0; 25,0; 26,0; 27,0; 28,0; 29,0; 30,0	-0,052	-0,084	-0,130	-0,21
31,0; 32,0; 33,0; 34,0; 35,0; 36,0; 37,0; 38,0; 39,0; 40,0; 41,0; 42,0; 44,0; 45,0; 46,0; 48,0; 49,0; 50,0	-0,062	-0,100	-0,160	-0,250
52,0; 53,0; 55,0; 56,0; 58,0; 60,0; 61,0; 62,0; 63,0; 65,0	-0,074	-0,120	-0,190	-0,300
67,0; 69,0; 70,0; 71,0; 73,0; 75,0; 78,0; 80,0	-	-	-0,190	-0,300
82,0; 85,0; 88,0; 90,0 92,0; 95,0; 90,0; 100,0	-	-	-0,220	-0,350

Прокат стальной горячекатаный шестигранный. Сортамент. ГОСТ 2879-88

Диаметр вписанного круга, мм	Предельные отклонения, мм при точности прокатки	
	Б (повышенной точности)	В (нормально точности)
8; 9	+0,1 -0,3	+0,3 -0,5
10; 11; 12; 13; 14	+0,2 -0,3	
15; 16; 17; 18; 19	+0,2 -0,3	+0,3 -0,5
20; 21; 22; 24; 25	+0,2 -0,4	+0,4 -0,5
26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 48; 48	+0,2 -0,6	+0,4 -0,7

ГОСТ 2060-90 Прутки латунные. Технические условия

Номинальный диаметр	Предельные отклонения по номинальному диаметру тянутых прутков при точности изготовления				
	круглых			квадратных и шестигранных	
	высокой	повышенной	нормальной	повышенной	нормальной
3,0	-0,04	-0,06	-0,10	-	-
3,5; 4,5;	-0,05	-0,08	-0,12	-	-
5,0; 5,5; 6,0	-0,05	-0,08	-0,12	-0,08	-0,12
6,5; 7,0; 7,5; 8,0 8,5; 9,0; 9,5; 10,0	-0,06	-0,09	-0,15	-0,09	-0,15
11; 12; 13; 14; 15; 17	-0,07	-0,11	-0,18	-0,11	-0,18
16; 18	-0,07	-0,11	-0,18	-	-0,18
19; 20; 21; 22; 24; 27; 30	-0,08	-0,13	-0,21	-0,13	-0,21
23; 25; 28	-0,08	-0,13	-0,21	-	-
32; 35; 36; 38	-0,10	-0,16	-0,25	-0,16	-0,25
34	-	-	-	-	-0,25
40	-0,10	-0,16	-0,25	-	-
41	-0,10	-	-	- 0,16	-0,25
45	-0,10	-0,16	-0,25	-	-
46	-0,10	-	-	-0,16	-0,25
50	-0,10	-0,16	-0,25	-0,16	-0,25

Примечание: за диаметр квадратных и шестигранных прутков принимают диаметр вписанной окружности, т.е. расстояние между параллельными гранями прутка.

Таблица 1

**Ориентировочные значения скоростей резания (м/мин),
рекомендуемые при работе инструментами из быстрорежущей стали для различных
видов обработки**

Обрабатываемый материал	Точение и отрезка	Сверление	Зенкерование	Развертывание	Накатывание рифлений	Нарезание резьбы	
						метчиками	плашками
Сталь 20	45-55	30-40	25-30	8-12	30-35	3-6	1,8-3,5
Сталь 35	35-45	25-35	20-25	6-10	25-32	2,5-5,5	1,8-3,5
Сталь 45	25-35	20-30	18-20	6-8	20-30	2-5	1,5-3,0
Сталь А12	40-60	30-50	20-35	10-15	35-45	3-8	2,5-5,0
Углеродистая сталь	18-25	15-20	10-15	5-8	15-20	1,5-3,0	1-2,5
Хромистые и нержавеющие стали	15-25	10-15	8-12	4-6	15-20	1,5-2,5	0,8-2,0
Латунь	80-150	60-110	45-80	20-40	70-100	6-20	6-18
Бронза	35-60	30-50	25-35	15-30	35-50	4-15	3,5-10
Алюминий	120-200	90-150	60-80	25-50	90-120	10-30	7-25

Таблица 2

Ориентировочные значения скоростей резания (м/мин) при фрезеровании

Обрабатываемый материал	Твердость материала	Скорость (м/мин)
Стали общего применения	<150НВ	150
	<190НВ	120
	<240НВ	90
Чугуны	<200НВ	120
	>200НВ	80
Медь	<150НВ	250
Алюминий		350

Подача для чистовой стадии обработки (для продольного течения и подрезки торцов)

Обрабатываемый материал	Глубина резания t , мм, до	Диаметр детали D , мм, до			
		18	50	180	500
		Подача S , мм/об			
Стали конструкционные углеродистые и легированные	0,3	0,09	0,17	0,31	-
	0,4	0,08	0,16	0,28	0,50
	0,6	0,07	0,14	0,25	0,45
	1,0	0,06	0,12	0,22	0,40
Чугун серый	0,3	0,08	0,19	0,32	1,10
	0,4	0,07	0,17	0,30	0,97
	0,6	0,07	0,16	0,27	0,87
	1,0	0,06	0,14	0,24	0,80
Медные и алюминиевые сплавы	0,3	0,10	0,23	0,39	0,65
	0,4	0,09	0,21	0,36	0,61
	0,6	0,08	0,19	0,33	0,55
	1,0	0,07	0,17	0,30	0,50

Таблица 2

Подача для чистовой стадии обработки (расстачивание).**Резцы с пластинами из твердого сплава, быстрорежущей стали и керамики**

Обрабатываемый материал	Глубина резания t , мм, до	Сечение резца (оправки)						
		круглое диаметром d , мм, до					прямоугольное шириной B , мм, до	
		10	12	16	20	25	25	30
		Подача S , мм/об						
Стали конструкционные углеродистые и легированные	0,3	0,14	0,17	0,22	0,28	0,33	0,35	-
	0,8	0,12	0,14	0,17	0,23	0,30	0,30	0,38
	1,5	0,08	0,10	0,13	0,18	0,27	0,28	0,32
Чугун серый	0,3	0,15	0,18	0,24	0,30	0,36	0,38	-
	0,8	0,13	0,15	0,18	0,25	0,32	0,33	0,40
	1,5	0,10	0,11	0,14	0,20	0,28	0,28	0,35
Медные и алюминиевые сплавы	0,3	0,17	0,20	0,27	0,35	0,40	0,43	-
	0,8	0,15	0,17	0,21	0,28	0,37	0,37	0,47
	1,5	0,10	0,12	0,16	0,22	0,33	0,33	0,40

Таблица 3

Подачи (мм/об) при прорезании пазов и отрезании

Диаметр обработки, мм	Обрабатываемый материал	
	сталь конструкционная углеродистая и легированная	чугун, медные и алюминиевые сплавы
До 20	0,06-0,08	0,11-0,14
Свыше 20 до 40	0,1-0,12	0,16-0,19
Свыше 40 до 60	0,13-0,16	0,20-0,24
Свыше 60 до 100	0,16-0,23	0,24-0,32

Таблица 4

Подачи, мм/зуб, при чистовом фрезеровании плоскостей и уступов торцовыми, дисковыми и цилиндрическими фрезами

Параметр шероховатости поверхности, мкм	Торцевые и дисковые фрезы со вставными ножами		Цилиндрические фрезы из быстрорежущей стали при диаметре фрезы D (мм), в зависимости от обрабатываемого материала					
	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	конструкционная углеродистая и легированная сталь			чугун, медные и алюминиевые сплавы		
			40-75	90-130	150-200	40-75	90-130	150-200
6,3	-	1,2-2,7	-	-	-	-	-	-
3,2	0,5-1,0	0,5-1,2	1,0-2,7	1,7-3,8	2,3-5,0	1,0-2,3	1,4-3,0	1,9-3,7
1,6	0,4-0,6	0,23-0,5	0,6-1,5	1,0-2,1	1,3-2,8	0,6-1,3	0,8-1,7	1,1-2,1
0,8	0,2-0,3	-	-	-	-	-	-	-
0,4	0,15	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 5

Подачи (мм/об) при сверлении отверстий

Диаметр сверла, мм	Сталь, твердость				Серый и ковкий чугун, медные и алюминиевые сплавы	
	НВ<160	160...240	240...300	НВ>300	НВ<170	НВ>170
2-4	0,09-0,13	0,08-0,10	0,06-0,07	0,04-0,06	0,12-0,18	0,09-0,12
4-6	0,13-0,19	0,10-0,15	0,07-0,11	0,06-0,09	0,18-0,27	0,12-0,18
6-8	0,19-0,26	0,15-0,20	0,11-0,14	0,09-0,12	0,27-0,36	0,18-0,24
8-10	0,26-0,32	0,20-0,25	0,14-0,17	0,12-0,15	0,36-0,45	0,24-0,31
10-12	0,32-0,36	0,25-0,28	0,17-0,20	0,15-0,17	0,45-0,55	0,31-0,35
12-16	0,36-0,43	0,28-0,33	0,0,017825	0,17-0,20	0,55-0,66	0,35-0,41
16-20	0,43-0,049	0,33-0,38	0,23-0,27	0,20-0,23	0,66-0,76	0,41-0,47
20-25	0,49-0,58	0,38-0,43	0,27-0,32	0,23-0,26	0,76-0,89	0,47-0,54
25-30	0,58-0,62	0,43-0,48	0,32-0,35	0,26-0,29	0,89-0,96	0,54-0,60
30-40	0,62-0,78	0,48-0,58	0,35-0,42	0,29-0,35	0,96-1,16	0,60-0,71
40-50	0,78-0,89	0,58-0,66	0,42-0,48	0,35-0,40	1,19-1,36	0,71-0,81

Таблица 6

Подачи при рассверливании отверстий спиральными сверлами

Обрабатываемый материал		Диаметр сверла d, до мм									
		25		30			40			50	
		10	15	10	15	20	15	20	30	20	30
		Подача S_0 , мм									
сталь	$\sigma_{BP} < 90 \text{ кГ/мм}^2$	0,4	0,4	0,45	0,45	0,45	0,3	0,4	0,5	0,2	0,4
	$\sigma_{BP} > 90 \text{ кГ/мм}^2$	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,45	0,15	0,2
чугун	HB < 200	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,65	1,0
	HB > 200	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4	0,6

Лабораторная работа №2

Разработка комплекта технологической документации

1. Цель работы

Приобретение студентами навыков разработки технологической документации

2. Основные сведения из теории

Единая система технологической документации

В настоящее время в России не существует единых стандартов для оформления технологической документации, каждое предприятие вправе использовать собственные формы и бланки технологических документов. Но чаще всего применяются документы Единой Системы Технологической Документации (ЕСТД) разработанной в СССР.

ЕСТД представляет собой комплекс государственных стандартов и руководящих нормативных документов, устанавливающих взаимосвязанные правила и положения по порядку разработки, комплектации, оформления и обращения технологической документации, применяемой при изготовлении и ремонте изделий.

Основное назначение стандартов ЕСТД заключается в установлении единых правил выполнения, оформления, комплектации и обращения технологической документации в зависимости от типа и характера производства. Эти правила обеспечивают взаимообмен технологическими документами между организациями и предприятиями без их переоформления, а также стабильность комплектации, исключающая повторную разработку и выпуск дополнительных документов.

Технологические документы – текстовые и графические документы, в отдельности или в совокупности, определяющие порядок изготовления изделия, проведения процессов и содержащие необходимые данные для контроля и приемки изделий.

В зависимости от назначения технологические документы подразделяют на основные и вспомогательные [ГОСТ 3.1102-2011 Единая система технологической документации (ЕСТД). Стадии разработки и виды документов. Общие положения]. К основным относят документы:

- содержащие сводную информацию, необходимую для решения одной или комплекса инженерно-технических, планово-экономических и организационных задач;
- полностью и однозначно определяющие технологический процесс (операцию) изготовления или ремонта изделия (составных частей изделия).

Основные технологические документы содержат различную информацию:

- о комплектующих составных частях изделия и применяемых материалах;
- о действиях, выполняемых исполнителями при проведении технологических процессов и операций;
- о средствах технологического оснащения производства;
- о наладке средств технологического оснащения и применяемых данных по технологическим режимам;
- о расчете трудозатрат, материалов и средств технологического оснащения;
- о технологическом маршруте изготовления и ремонте;
- о требованиях к рабочим местам, экологии окружающей среды и т.п.

Виды основных технологических документов: технологическая инструкция, маршрутная, операционная и маршрутно-операционная карты, карта эскизов, ведомости технологических маршрутов, оборудования, материалов и т.д.

К вспомогательным относят документы, применяемые при разработке, внедрении и

функционировании технологических процессов и операций, например, карту заказа на проектирование технологической оснастки, акт внедрения технологического процесса и др.

Согласно стандартам ЕСТД существует три вида описания технологических процессов: маршрутное описание, операционное описание и маршрутно-операционное описание.

При *маршрутном описании* применяется сокращенное описание содержания операций, без указания режимов обработки, оно применяется при единичном и мелкосерийном производствах.

При *операционном описании* применяется подробное описание содержания операций, с указанием режимов обработки, применяется при серийном и массовом производствах.

При *маршрутно-операционном описании* некоторые операции описываются подробно, остальные кратко, применяется при единичном и мелкосерийном производстве, если имеются отдельные сложные операции.

Согласно ЕСТД обязательным документов для всех видов описания является маршрутная карта. В маршрутной карте приводится краткое содержание операций, без указания установок, переходов и режимов резания. В карте указываются данные по материалу детали, виду и массе заготовки, оборудованию, технологической оснастке, разряду работы, нормам времени.

В маршрутном технологическом процессе содержание операций излагается только в маршрутной карте без указания переходов. В операционном технологическом процессе маршрутная карта содержит только наименование всех операций в технологической последовательности, включая контроль и перемещение, перечень документов, применяемых при выполнении операции, технологическое оборудование и трудозатраты, а сами операции разрабатываются на операционных картах.

Также технологический процесс может содержать карту эскизов. Карта эскизов – графический документ, содержащий эскизы, схемы и таблицы и предназначенный для пояснения выполнения технологического процесса, операции или перехода.

На рис. 1а приведен пример оформления маршрутной карты на единичный технологический процесс (маршрутное описание), взятый из [ГОСТ 3.1118-82 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления маршрутных карт], на рис. 1б пример оформления маршрутной карты на единичный технологический процесс (операционное описание) также взятый из ГОСТ 3.1118-82.

ГОСТ 3.1404-86										Форма 1		
Дубль												
Взам.												
Лист												
Разработ	Иванов	Иванов	10.12.85								17	1
Начерт	Васильева	Васильева	11.12.85									
Соглас	Варламов	Варламов	12.12.85									
Утвержд	Киселев	Киселев	13.12.85									
И.контр.	Дорохова	Дорохова	10.12.85									
НПО "РИТМ"										К. XXXXX.XXXXXX		
АБВГ.XXXXXX.XXX										XXXXXX.XXXXXXXX		
Корпус коробки передач												
СЧ 21-40												
М 01	Код	ЕВ	МД	ЕН	Н.вост.	КММ	Код заготовки	Профиль, разм. заготовки	КД	МЗ		
М 02	XXXXXX.XXXX	XXX	32	1	35,6	0,89	XXXXXX.XXXX	Отливка 374 x 290 x 342	1	34		
Обозначение документа												
Таблица 1												
Оборудование, устройство												
Обозначение программы												
Срм												
Эмульсия												
A 03 25 01 - 005 XXXX. Растачная												
K. XXXXX.XXXXXX; K. XXXXX.XXXXXX; ИОГ № XXX-XX												
B 04 АБВГ.XXXXXX.XXX 6906 ВМ 02 2 XXXXX.XXX.XXX 1 1 1 0,83 400 1,15 6,45												
D 05 1. Установить заготовку в приспособление. Вернуть и закрепить 3,21												
T 06 АБВГ.XXXXXX.XXX приспособление; АБВГ.XXXXXX.XXX шаблонный стержень												
D 07												
D 08 2. Растачать отв. Ø99 на проход предварительно - 1,15												
T 09 АБВГ.XXXXXX.XXX оправка расточная; АБВГ.XXXXXX.XXX резец ВК6М												
P 10 123 98 30 3 1 0,2 250 76												
D 12 3. Центровать под сверление десять отв. Ø10 и двух отв. Ø22 - 0,9												
T 13 АБВГ.XXXXXX.XXX втулка; АБВГ.XXXXXX.XXX центровочное сверло												
P 14 124 30 30 5 1 100 500												
15												
КТЛ												

а)

ГОСТ 3.1404-86										Форма 2		
Дубль												
Взам.												
Лист												
Разработ	Иванов	Иванов	10.12.85								2	1
Начерт	Васильева	Васильева	11.12.85									
Соглас	Варламов	Варламов	12.12.85									
Утвержд	Киселев	Киселев	13.12.85									
И.контр.	Дорохова	Дорохова	10.12.85									
НПО "РИТМ"										К. XXXXX.XXXXXX		
АБВГ.XXXXXX.XXX										XXXXXX.XXXXXXXX		
Плита												
02 05 - 010												
Наименование операции												
Материал												
30ХГСА												
Фрезерная												
Твердость												
ЕВ МД Профиль, разм. заготов. МЗ КВМД												
— кз 2,650 Лист 208x160x30 3,150 1												
Оборудование, устройство ЧПУ												
Обозначение программы												
6Т12К-1; Н22-1М XXXXX.XXXXXX												
Т0 Т0 Т0з Т0шт												
Срм												
Эмульсия												
P 5,04 2,38 3,15 8,27												
ПН В или В L t i S n σ												
D 01 1. Фрезеровать полки по всей длине, выдерживая размеры 1 и 2 1,52 3,4												
T 02 АБВГ.XXXXXX.XXX тиски; АБВГ.XXXXXX.XXX втулка; АБВГ.XXXXXX.XXX фреза ВКВ												
03 АБВГ.XXXXXX.XXX шаблон; АБВГ.XXXXXX.XXX контрольное приспособление												
P 04 021 40 215 2,5 4 0,2 315 38												
D 05												
D 06 2. Контроль исполнителем 0,46 1,24												
D 07												
D 08												
D 09												
D 10												

б)

Рисунок 2– Примеры оформления операционных карт согласно [ГОСТ 3.1404.-86 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов на технологические процессы и операции обработки резанием]: а) оформление карты технологического процесса, выполняемого на станке с ЧПУ; б) оформление операционной карты на технологическую операцию, выполняемого на станке с ЧПУ

Ниже приведен перечень стандартов ЕСТД:

- ГОСТ 3.1001-81 Единая система технологической документации. Общие положения.
- ГОСТ 3.1102-81 Единая система технологической документации. Стадии разработки и

виды документов.

- ГОСТ 3.1103-82 Единая система технологической документации. Основные надписи.
- ГОСТ 3.1104-81 Единая система технологической документации. Общие требования к формам, бланкам и документам.
- ГОСТ 3.1105-84 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов общего назначения.
- ГОСТ 3.1107-81 Единая система технологической документации. Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения.
- ГОСТ 3.1109-82 Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий.
- ГОСТ 3.1116-79 Единая система технологической документации. Нормоконтроль.
- ГОСТ 3.1118-82 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления маршрутных карт.
- ГОСТ 3.1119-83 Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на единичные технологические процессы.
- ГОСТ 3.1120-83 Единая система технологической документации. Общие правила отражения и оформления требований безопасности труда в технологической документации.
- ГОСТ 3.1121-84 Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на типовые и групповые технологические процессы (операции).
- ГОСТ 3.1122-84 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов специального назначения. Ведомости технологические.
- ГОСТ 3.1123-84 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления технологических документов, применяемых при нормировании расхода материалов.
- ГОСТ 3.1125-88 Единая система технологической документации. Правила графического выполнения элементов литейных форм и отливок.
- ГОСТ 3.1126-88 Единая система технологической документации. Правила выполнения графических документов на поковки.
- ГОСТ 3.1127-93 Единая система технологической документации. Общие правила выполнения текстовых технологических документов.
- ГОСТ 3.1128-93 Единая система технологической документации. Общие правила выполнения графических технологических документов.
- ГОСТ 3.1129-93 Единая система технологической документации. Общие правила записи технологической информации в технологических документах на технологические процессы и операции.
- ГОСТ 3.1130-93 Единая система технологической документации. Общие требования к формам и бланкам документов.
- ГОСТ 3.1201-85 Единая система технологической документации. Система обозначения технологической документации.
- ГОСТ 3.1401-85 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов на технологические процессы литья.
- ГОСТ 3.1402-84 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов на технологические процессы раскроя материалов.
- ГОСТ 3.1403-85 Единая система технологической документации. Формы и правила

оформления документов на технологические процессы и операцииковки и штамповки.

– ГОСТ 3.1404-86 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов на технологические процессы и операции обработки резанием.

– ГОСТ 3.1405-86 Единая система технологической документации. Формы и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы термической обработки.

– ГОСТ 3.1407-86 Единая система технологической документации. Формы и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы (операции), специализированные по методам сборки.

– ГОСТ 3.1408-85 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов на технологические процессы получения покрытий.

– ГОСТ 3.1409-86 Единая система технологической документации. Формы и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы (операции) изготовления изделий из пластмасс и резины.

– ГОСТ 3.1412-87 Единая система технологической документации. Требования к оформлению документов на технологические процессы изготовления изделий методом порошковой металлургии.

– ГОСТ 3.1428-91 Единая система технологической документации. Правила оформления документов на технологические процессы (операции) изготовления печатных плат.

– ГОСТ 3.1502-85 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов на технический контроль.

– ГОСТ 3.1507-84 Единая система технологической документации. Правила оформления документов на испытания.

– ГОСТ 3.1603-91 Единая система технологической документации. Правила оформления документов на технологические процессы (операции) сбора и сдачи технологических отходов.

– ГОСТ 3.1701-79 Единая система технологической документации. Правила записи операций и переходов. Холодная штамповка.

– ГОСТ 3.1702-79 Единая система технологической документации. Правила записи операций и переходов. Обработка резанием.

– ГОСТ 3.1703-79 Единая система технологической документации. Правила записи операций и переходов. Слесарные, слесарно-сборочные работы

– ГОСТ 3.1704-81 Единая система технологической документации. Правила записи операций и переходов. Пайка и лужение.

– ГОСТ 3.1705-81 Единая система технологической документации. Правила записи операций и переходов. Сварка.

– ГОСТ 3.1706-83 Единая система технологической документации. Правила записи операций и переходов. Ковка и горячая штамповка.

– ГОСТ 3.1707-84 Единая система технологической документации. Правила записи операций и переходов. Литье.

– ГОСТ 3.1901-74 Единая система технологической документации. Нормативно-техническая информация общего назначения, включаемая в формы технологических документов.

3. Задание для самостоятельного выполнения

1. Ознакомиться с теоретическим содержанием работы и примерами решения задач.
2. Для детали из лабораторной работы «Разработка технологического процесса изготовления детали» оформить технологическую документацию.

Лабораторная работа №3

«Нормирование затрат труда операций механической обработки»

1. Цель работы

Приобретение студентами навыков выбора заготовки для изготовления детали, расчета норм расхода времени, разработки маршрута обработки детали.

2. Основные сведения из теории

Структура норм времени

Задача технического нормирования – установление технических обоснованных норм времени на выполнение технологических операций.

Норму штучного времени, т. е. времени, необходимого для обработки заготовки на данной технологической операции, определяют по формуле:

$$t_{ш} = t_o + t_b + t_{об} + t_{от},$$

где t_o – основное технологическое время, затрачиваемое непосредственно на резание; t_b – вспомогательное время, затрачиваемое на установку, закрепление и снятие заготовки и на действия, связанные с обеспечением выполнения работ в течение перехода: подвод и отвод инструмента или заготовки, смену инструмента, управление станком, производство измерений; $t_{об}$ – время на организационное и техническое обслуживание рабочего места; $t_{от}$ – время на перерывы в работе для отдыха и личных надобностей. В норме штучного времени объединяют следующие элементы:

$$t_o + t_b = t_{оп} - \text{оперативное время};$$

$$t_{об} + t_{от} = t_{доп} - \text{дополнительное время}.$$

Дополнительное время определяется в процентах от оперативного.

В тех случаях, когда в связи со сменой работы необходимо ознакомиться с новыми чертежами, технологическими картами, получить инструмент, приспособления, произвести переналадку станка, и т.д. на партию деталей для этой цели выделяется подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, а оплата стоимости технологической операции производится исходя из *штучно-калькуляционного* времени $t_{шк}$ определяемого по формуле

$$t_{ш.к.} = t_{ш} + \frac{t_{пз}}{N_n},$$

где N_n — число заготовок в обрабатываемой партии.

На основании нормы времени определяют норму выработки, представляющую собой число заготовок, которое должно быть обработано в единицу времени. Различают норму выработки в час и норму выработки в смену, которые определяют по формулам:

$$Q_{ч} = \frac{60}{t_{ш}}; \quad Q_{см} = \frac{60T_{см}}{t_{ш}},$$

где $T_{см}$ — продолжительность рабочей смены в часах.

Методы определения нормы времени

Требования к точности определения нормы времени на операцию зависят от типа производства. Наиболее точно определяют норму времени на операцию при массовом производстве, менее точно — при серийном и приближенно — при единичном и мелкосерийном. Определение норм времени на технологическую операцию может производиться следующими методами.

Расчетно-аналитический метод. Применяют для станочных и сварочных работ при крупносерийном и массовом производствах.

Например, основное технологическое время (мин) для токарных операций определяют расчетом по формуле:

$$t_o = \frac{L_p i}{n s},$$

где L_p — расчетная длина хода с учетом пути врезания и выхода инструмента, мм; i — число рабочих ходов; n — частота вращения заготовки, мин^{-1} ; $n \cdot s$ — минутная подача или скорость перемещения инструмента в направлении подачи, мм/мин.

Исследовательский метод. Применяют для работ, выполняемых вручную (слесарно-сборочные, кузнечные и др.); на основе данных хронометража и фотографии рабочего процесса.

Метод сравнения. Применяется при единичном и мелкосерийном производствах; нормы времени определяют путем сравнения с другой подобной работой, на которую имеется технически обоснованная норма времени.

Для уточнения некоторых элементов технологического процесса и технической нормы времени на производстве проводят исследования, включающие хронометраж и фотографию рабочего дня.

Хронометраж представляет собой исследование продолжительности отдельных элементов технологического процесса при многократном их выполнении. При хронометраже изучают элементы оперативного времени.

Фотография рабочего дня служит для изучения структуры рабочего времени в течение рабочего дня. Основное назначение этого мероприятия – определение потерь рабочего времени, установление времени на обслуживание рабочего места и перерывы. Данные фотографий рабочего дня применяют также для установления норм подготовительно-заключительного времени.

При установлении нормы времени на выполнение данной операции определяют также разряд квалификации работы по тарифно-квалификационному справочнику соответствующей отрасли промышленности.

Исходным документом при нормировании операции технологического процесса является операционная технологическая карта. Норма времени на любую станочную работу определяется по формуле

$$T_{\text{ш.к.}} = T_o + T_v + T_{\text{обсл.}} + T_{\text{отд.}} + \frac{T_{\text{п.з.}}}{N},$$

где $T_{\text{ш.к.}}$ – штучно-калькуляционное время на обработку одной единицы изделия; T_o – основное время (время, непосредственно затрачиваемое на изменение формы и размеров изделия); T_v – вспомогательное время (время, затрачиваемое на выполнение приемов, помогающих произвести на станке изменение формы и размеров изделия); $T_{\text{обсл.}}$ – время обслуживания рабочего места (смена затупившегося инструмента, сметание стружки, смазка, чистка станка и т. п.); $T_{\text{отд.}}$ – время на отдых и личные надобности; N – число деталей в партии; $T_{\text{п.з.}}$ – норма подготовительно-заключительного времени на партию деталей в N штук.

Определение основного времени

Основное технологическое время T_o (мин) рассчитывается по каждому переходу на основании установленных режимов резания по формулам:

Для токарных и сверлильных работ:

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i, \quad (1)$$

для резьбонарезных работ:

$$T_o = \left(\frac{L}{n \cdot S} + \frac{L}{n_{\text{обр}} \cdot S} \right) \cdot i, \quad (2)$$

для фрезерных работ:

$$T_o = \frac{L}{S_M} \cdot i = \frac{L}{S_z \cdot z \cdot n} \cdot i, \quad (3)$$

где L – расчетная длина обработки, мм; n – частота вращения шпинделя, об/мин; $n_{\text{обр}}$ – частота вращения шпинделя при холостом вращении в обратную сторону, об/мин; S – подача за один оборот шпинделя, мм/об; S_M – подача за одну минуту (минутная подача), мм/мин; S_z – подача на зуб, мм/зуб; z – число зубьев фрезы, i – количество проходов.

Число оборотов шпинделя вычисляется по формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D},$$

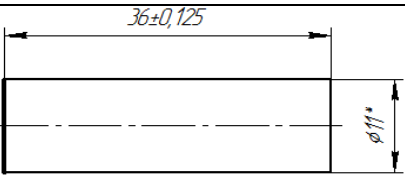
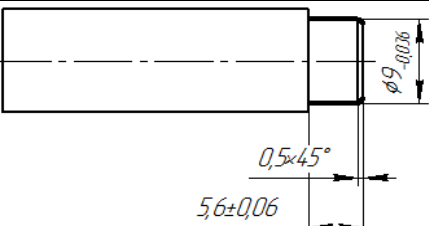
где v – скорость резания; D – диаметр заготовки, мм. Далее полученное значение округляется до ближайшего согласно техническим данным станка.

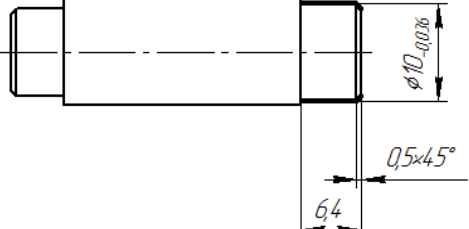
В табл. 1 приведены наиболее часто встречающиеся схемы обработки при точении, нарезании резьбы, сверлении и фрезеровании и соответствующие этим схемам формулы расчета длины обработки, принимаемой при определении основного времени. Таким образом, по табл. 2– 5 находятся величины врезания и перебега инструмента.

3. Примеры решения задач

Для операций указанных в табл. 1 рассчитайте нормы времени.

Таблица 1

Наименование операции.	Содержание операции	Операционный эскиз
010 Токарная	Отрезать заготовку длиной 36мм, выдерживая размеры согласно эскизу	
020 Токарная	Точить наружную поверхность, фаску, выдерживая размеры согласно эскизу	

030 Токарная	Точить наружную поверхность, фаску, выдерживая размеры согласно эскизу	
--------------	--	--

Решение

Формула для расчета, T_o	Исходные данные
010 Отрезная	
$T_o = \frac{L}{n \cdot S}$	$L = D/2 + l_2$ (отрезка сплошного материала, таблица 1, приложение 1), $L = 5,5 + 2 = 7,5$ мм, где $l_2 = 2$ (таблица 2, приложение 1), $S = 0,06$ мм/об (таблица 3, приложение 3), $v = 40$ м/мин (таблица 1, приложение 2). $n = \frac{1000 \cdot 40}{3,14 \cdot 11} = 1158,07$ об/мин. Округляем до $n = 1200$ об/мин. $T_o = \frac{L}{n \cdot S} = \frac{7,5}{1200 \cdot 0,06} = 0,104$ мин.
020 Токарная	
$T_o = \frac{L}{n \cdot S}$	$\frac{d_{\text{заг}} - d_{\text{дет}}}{2} = \frac{11 - 9}{2} = 1$ мм. $L = l + l_1$ (точение в упор, таблица 1, приложение 1), $L = 14,9 + 2 = 16,9$ мм, где $l_1 = 2$ (таблица 2, приложение 1), $S = 0,4$ мм/об (таблица 1, приложение 3). $v = 40$ м/мин (таблица 1, приложение 2). $n = \frac{1000 \cdot 40}{3,14 \cdot 11} = 1158,07$ об/мин. Округляем до $n = 1200$ об/мин. $T_o = \frac{L}{n \cdot S} = \frac{16,9}{1200 \cdot 0,4} = 0,035$ мин.
030 Токарная	
$T_o = \frac{L}{n \cdot S}$	$\frac{d_{\text{заг}} - d_{\text{дет}}}{2} = \frac{11 - 10}{2} = 0,5$ мм. $L = l + l_1$ (точение в упор, таблица 1, приложение 1), $L = 6,4 + 2 = 8,4$ мм, где $l_1 = 2$ (таблица 2, приложение 1), $S = 0,4$ мм/об (таблица 1, приложение 3), $v = 40$ м/мин (таблица 1, приложение 2). $n = \frac{1000 \cdot 40}{3,14 \cdot 11} = 1158,07$ об/мин. Округляем до $n = 1200$ об/мин. $T_o = \frac{L}{n \cdot S} = \frac{8,4}{1200 \cdot 0,4} = 0,018$ мин.

4. Задание для самостоятельного выполнения

1. Ознакомиться с теоретическим содержанием работы и примерами решения задач.
2. Разработать маршрут обработки детали согласно варианту (см. табл. 2).
3. Для операций разработанного маршрута обработки рассчитать основное время для изготовления детали.

Таблица 2

Маршрут обработки детали

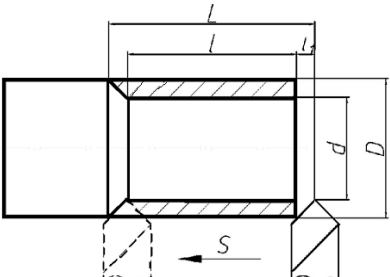
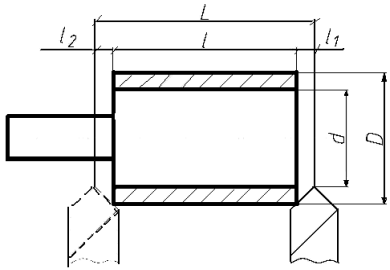
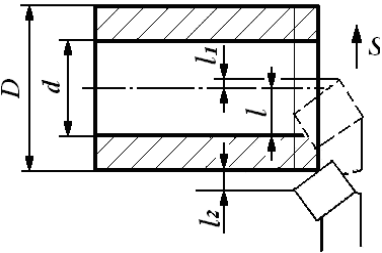
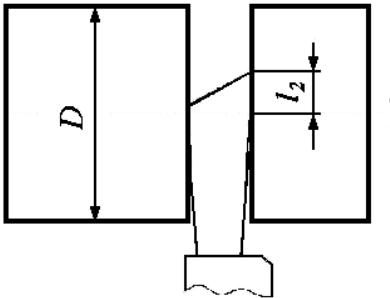
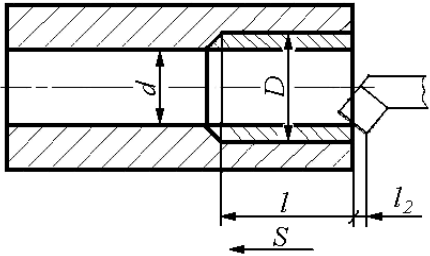
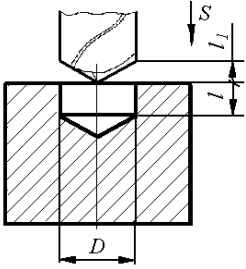
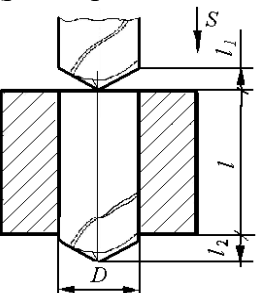
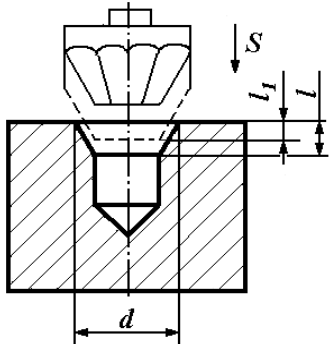
Номер варианта	Материал	Эскиз детали
1	Сталь Ст 10	
2	Сплав Д16	
3	Латунь ЛС59-1	
4	Сталь Ст20	

5	Сталь Ст20	
---	------------	--

5. Контрольные вопросы

1. Виды заготовок.
2. Методы литья деталей.
3. Точность, получаемая при различных методах литья.
4. Этапы расчета норм расхода материала.
5. Основные потери материала.
6. Коэффициент использования материала.
7. Порядок проектирования технологических процессов.
8. Виды исходной информации: базовая, руководящая, справочная.
9. Технологичность изделия.
10. Маршрутный, маршрутно-операционный или операционный технологический процесс.
11. Припуск на обработку.
12. Порядок формирования записи содержания перехода в операции.
13. Поверхности, получаемые при токарной обработке.
14. Поверхности, получаемые при фрезерной обработке.
15. Операции, выполняемые на сверлильных станках.

Схемы обработки при точении, нарезании резьбы, сверлении и фрезеровании
и формулы расчета длины обработки

<p>1. Обтачивание цилиндрической поверхности в упор</p>  <p style="text-align: right;">$L=l+l_2$</p>	<p>2. Обтачивание цилиндрической поверхности на проход</p>  <p style="text-align: right;">$L=l+l_1+l_2$</p>
<p>3. Подрезка торца</p>  <p>не сплошного сечения: $L=(D-d)/2+l_1+l_2$ сплошного сечения: $L=D/2+l_1+l_2$</p>	<p>4. Отрезка сплошного материала</p>  <p style="text-align: right;">$L=D/2+l_2$</p>
<p>5. Растачивание</p>  <p style="text-align: right;">$L=l+l_2$</p>	<p>6. Сверление глухого отверстия</p>  <p style="text-align: right;">$L=l+l_2$</p>
<p>7. Сверление сквозного отверстия (рассверливание отверстия)</p>  <p style="text-align: right;">$L=l+l_1+l_2$</p>	<p>8. Зенкование</p>  <p style="text-align: right;">$L=l+l_1$ $l_2=1$</p>

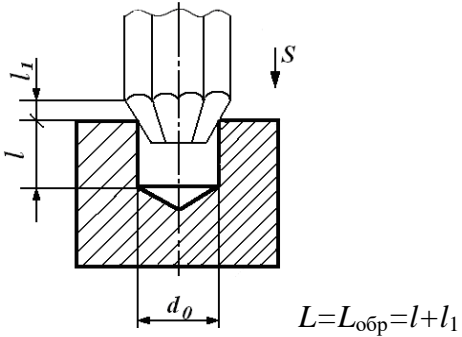
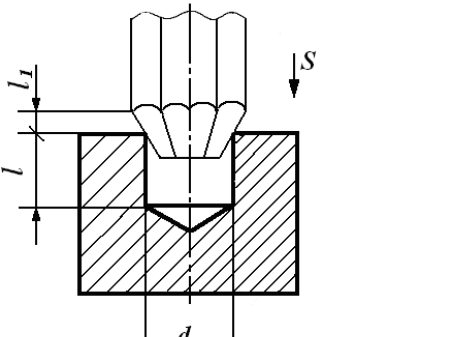
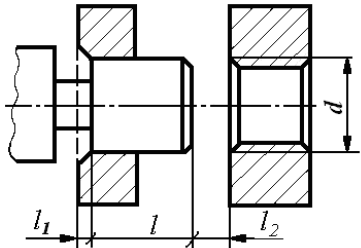
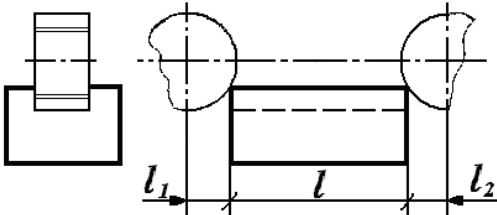
<p>9. Нарезание резьбы метчиком в упор</p>  <p>$L = L_{обp} = l + l_1$</p>	<p>10. Нарезание резьбы метчиком на проход</p>  <p>$L = L_{обp} = l + l_1 + l_2$</p>
<p>11. Нарезание резьбы плашкой</p>  <p>$L = L_{обp} = l + l_1 + l_2$</p>	<p>12. Фрезерование дисковыми фрезами на проход</p>  <p>$L = l + l_1 + l_2$</p>

Таблица 2

Величины резания и перебега инструмента при обработке резцами

Типы резцов	Угол резца в плане ϕ , град	Величина врезания и перебега $l_1 + l_2$ мм при глубине врезания t , мм			
		до 1,0	1,0-2,0	2,0-4,0	4,0-6,0
Проходные	45	2	3,5	6	8
Подрезные	60	2	2,5	4	5
Расточные	75	2	2,5	3	4
	90	3-5			
Прорезные и отрезные		2-5			
Резьбовые	На проход	$(5-8) \cdot S$			
	В упор	$(3-4) \cdot S$			

Таблица 3

Величина врезания и перебега при обработке торцевыми и концевыми фрезами

Ширина	Диаметр фрезы, мм
--------	-------------------

фрезерования или ширина паза В, мм	16	20	25	32	40	50	63	80	100
	$l_1 + l_2$, мм								
10	3,0	2,5	-	-	-	-	-	-	-
15	-	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,2	-
20	-	-	6,5	5,0	4,5	4,0	4,0	4,0	4,0

Таблица 4

Величины врезания и перебега инструмента при обработке сверлами, зенкерами, развертками, метчиками и плашками

Вид обработки	Диаметр инструмента, мм до									
	3	5	10	15	20	25	30	50	50	60
	$l_1 + l_2$, мм									
Сверление на проход	2	2,5	5	6	8	10	12	15	18	23
Сверление в упор	1,5	2	4	5	7	9	11	14	17	21
Рассверливание при глубине резания, мм до	5	-	-	-	4	4	5	5	5	6
	10	-	-	-	-	-	8	8	8	9
	15	-	-	-	-	-	-	-	11	12
Зенкерование на проход при глубине резания, мм до	1	-	-	-	3	3	3	4	4	5
	3	-	-	-	5	5	5	6	6	7
	5	-	-	-	-	7	7	8	8	9
Зенкерование в упор	-	-	-	2	2	2	3	3	4	4
Развертывание на проход	8	8	9	15	18	19	19	24	25	26
Развертывание в упор	2	2	3	3	3	4	4	4	4	5
Нарезание резьбы метчиками на проход (4-8) · S										
Нарезание резьбы метчиками в упор (2,5-8) · S										
Нарезание резьбы плашками (1,5-2) · S										

Таблица 5

Величины врезания и перебега при обработке цилиндрическими дисковыми, концевыми, прорезными и фасонными фрезами

Глубина резания, мм	Диаметр фрезы, мм									
	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100
	$l_1 + l_2$, мм									
0,5	3,0	4,0	4,0	5,0	5,5	6,5	7	8	9	10
1,0	4,0	5,0	5,0	6,5	7	8,5	9	10	11	13
1,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	11	12	13	15
2	5,0	6,5	7,0	8,5	9,5	11	12	14	15	17
3	5,5	7,5	8,0	9,5	11	13	14	16	18	20
4	6,0	8,0	9,0	11	12	14	16	18	20	23
5	-	8,5	9,5	12	13	15	17	20	22	25
6	-	-	10,	12	14	16	18	21	24	27
7	-	-	11,0	13	15	17	19	22	25	29
8	-	-	-	13	15	18	20	24	27	30
9	-	-	-	-	16	19	21	25	28	32

**Ориентировочные значения скоростей резания (м/мин),
рекомендуемые при работе инструментами из быстрорежущей стали для различных
видов обработки**

Обрабатываемый материал	Точение и отрезка	Сверление	Зенкерование	Развертывание	Накатывание рифлений	Нарезание резьбы	
						метчиками	плашками
Сталь 20	45-55	30-40	25-30	8-12	30-35	3-6	1,8-3,5
Сталь 35	35-45	25-35	20-25	6-10	25-32	2,5-5,5	1,8-3,5
Сталь 45	25-35	20-30	18-20	6-8	20-30	2-5	1,5-3,0
Сталь А12	40-60	30-50	20-35	10-15	35-45	3-8	2,5-5,0
Углеродистая сталь	18-25	15-20	10-15	5-8	15-20	1,5-3,0	1-2,5
Хромистые и нержавеющие стали	15-25	10-15	8-12	4-6	15-20	1,5-2,5	0,8-2,0
Латунь	80-150	60-110	45-80	20-40	70-100	6-20	6-18
Бронза	35-60	30-50	25-35	15-30	35-50	4-15	3,5-10
Алюминий	120-200	90-150	60-80	25-50	90-120	10-30	7-25

Таблица 2

Ориентировочные значения скоростей резания (м/мин) при фрезеровании

Обрабатываемый материал	Твердость материала	Скорость (м/мин)
Стали общего применения	<150НВ	150
	<190НВ	120
	<240НВ	90
Чугуны	<200НВ	120
	>200НВ	80
Медь	<150НВ	250
Алюминий		350

Подача для чистовой стадии обработки (для продольного точения и подрезки торцов)

Обрабатываемый материал	Глубина резания t , мм, до	Диаметр детали D , мм, до			
		18	50	180	500
		Подача S , мм/об			
Стали конструкционные углеродистые и легированные	0,3	0,09	0,17	0,31	-
	0,4	0,08	0,16	0,28	0,50
	0,6	0,07	0,14	0,25	0,45
	1,0	0,06	0,12	0,22	0,40
Чугун серый	0,3	0,08	0,19	0,32	1,10
	0,4	0,07	0,17	0,30	0,97
	0,6	0,07	0,16	0,27	0,87
	1,0	0,06	0,14	0,24	0,80
Медные и алюминиевые сплавы	0,3	0,10	0,23	0,39	0,65
	0,4	0,09	0,21	0,36	0,61
	0,6	0,08	0,19	0,33	0,55
	1,0	0,07	0,17	0,30	0,50

Таблица 2

Подача для чистовой стадии обработки (расстачивание).**Резцы с пластинами из твердого сплава, быстрорежущей стали и керамики**

Обрабатываемый материал	Глубина резания t , мм, до	Сечение резца (оправки)						
		круглое диаметром d , мм, до					прямоугольное шириной B , мм, до	
		10	12	16	20	25	25	30
		Подача S , мм/об						
Стали конструкционные углеродистые и легированные	0,3	0,14	0,17	0,22	0,28	0,33	0,35	-
	0,8	0,12	0,14	0,17	0,23	0,30	0,30	0,38
	1,5	0,08	0,10	0,13	0,18	0,27	0,28	0,32
Чугун серый	0,3	0,15	0,18	0,24	0,30	0,36	0,38	-
	0,8	0,13	0,15	0,18	0,25	0,32	0,33	0,40
	1,5	0,10	0,11	0,14	0,20	0,28	0,28	0,35
Медные и алюминиевые сплавы	0,3	0,17	0,20	0,27	0,35	0,40	0,43	-
	0,8	0,15	0,17	0,21	0,28	0,37	0,37	0,47
	1,5	0,10	0,12	0,16	0,22	0,33	0,33	0,40

Подачи (мм/об) при прорезании пазов и отрезании

Диаметр обработки, мм	Обрабатываемый материал	
	сталь конструкционная углеродистая и легированная	чугун, медные и алюминиевые сплавы
До 20	0,06-0,08	0,11-0,14
Свыше 20 до 40	0,1-0,12	0,16-0,19
Свыше 40 до 60	0,13-0,16	0,20-0,24
Свыше 60 до 100	0,16-0,23	0,24-0,32

Таблица 4

Подачи, мм/зуб, при чистовом фрезеровании плоскостей и уступов торцовыми, дисковыми и цилиндрическими фрезами

Параметр шероховатости поверхности, мкм	Торцевые и дисковые фрезы со вставными ножами		Цилиндрические фрезы из быстрорежущей стали при диаметре фрезы D (мм), в зависимости от обрабатываемого материала					
	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	конструкционная углеродистая и легированная сталь			чугун, медные и алюминиевые сплавы		
			40-75	90-130	150-200	40-75	90-130	150-200
6,3	-	1,2-2,7	-	-	-	-	-	-
3,2	0,5-1,0	0,5-1,2	1,0-2,7	1,7-3,8	2,3-5,0	1,0-2,3	1,4-3,0	1,9-3,7
1,6	0,4-0,6	0,23-0,5	0,6-1,5	1,0-2,1	1,3-2,8	0,6-1,3	0,8-1,7	1,1-2,1
0,8	0,2-0,3	-	-	-	-	-	-	-
0,4	0,15	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 5

Подачи (мм/об) при сверлении отверстий

Диаметр сверла, мм	Сталь, твердость				Серый и ковкий чугун, медные и алюминиевые сплавы	
	HB<160	160...240	240...300	HB>300	HB<170	HB>170
2-4	0,09-0,13	0,08-0,10	0,06-0,07	0,04-0,06	0,12-0,18	0,09-0,12
4-6	0,13-0,19	0,10-0,15	0,07-0,11	0,06-0,09	0,18-0,27	0,12-0,18
6-8	0,19-0,26	0,15-0,20	0,11-0,14	0,09-0,12	0,27-0,36	0,18-0,24
8-10	0,26-0,32	0,20-0,25	0,14-0,17	0,12-0,15	0,36-0,45	0,24-0,31
10-12	0,32-0,36	0,25-0,28	0,17-0,20	0,15-0,17	0,45-0,55	0,31-0,35
12-16	0,36-0,43	0,28-0,33	0,0,017825	0,17-0,20	0,55-0,66	0,35-0,41
16-20	0,43-0,049	0,33-0,38	0,23-0,27	0,20-0,23	0,66-0,76	0,41-0,47
20-25	0,49-0,58	0,38-0,43	0,27-0,32	0,23-0,26	0,76-0,89	0,47-0,54
25-30	0,58-0,62	0,43-0,48	0,32-0,35	0,26-0,29	0,89-0,96	0,54-0,60
30-40	0,62-0,78	0,48-0,58	0,35-0,42	0,29-0,35	0,96-1,16	0,60-0,71
40-50	0,78-0,89	0,58-0,66	0,42-0,48	0,35-0,40	1,19-1,36	0,71-0,81

Подачи при рассверливании отверстий спиральными сверлами

Обрабатываемый материал		Диаметр сверла d, до мм									
		25		30			40			50	
		10	15	10	15	20	15	20	30	20	30
		Подача S_0 , мм									
сталь	$\sigma_{BP} < 90 \text{ кг/мм}^2$	0,4	0,4	0,45	0,45	0,45	0,3	0,4	0,5	0,2	0,4
	$\sigma_{BP} > 90 \text{ кг/мм}^2$	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,45	0,15	0,2
чугун	HB < 200	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,65	1,0
	HB > 200	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4	0,6

*Приложение 4***Рекомендуемые диаметры дисковых фрез**

Ширина фрезерования, мм, до	Диаметр фрезы D в мм при глубине резания t в мм					
	до 5	до 10	до 20	до 30	до 60	до 100
10	50	63	80	100	160	-
20	63	80	100	125	200	315
40	80	100	125	160	200	315

Число зубьев дисковых фрез

Диаметр фрезы D, мм до	75	90	110	130	150	200
Число зубьев, z	12	12	14	16	16	18

Интервалы размеров, мм	Поля допусков валов, мкм																						
	h5	g6	h6	j _s 6	k6	n6	r6	f7	h7	s7	e8	u8	d9	e9	f9	h9	d11	h11	b12	h12	h14	h15	h16
	Предельные отклонения, мкм																						
От 1 до 3	0	-2	0	+3	+6	+10	+16	-6	0	+24	-14	+32	-20	-14	-6	0	-20	0	-140	0	0	0	0
Св. 3 до 6	0	-4	0	+4	+9	+16	+23	-10	0	+31	-20	+41	-30	-20	-10	0	-30	0	-140	0	0	0	0
Св. 6 до 10	0	-5	0	+4,5	+10	+19	+28	-13	0	+38	-25	+50	-40	-25	-13	0	-40	0	-150	0	0	0	0
Св. 10 до 18	0	-6	0	+5,5	+12	+23	+34	-16	0	+46	-32	+60	-50	-32	-16	0	-50	0	-150	0	0	0	0
Св. 18 до 24	0	-7	0	+6,5	+15	+28	+41	-20	0	+56	-40	+74	-65	-40	-20	0	-65	0	-160	0	0	0	0
Св. 24 до 30	-9	-20	-13	-6,5	+2	+15	+28	-41	-21	+35	-73	+81	-117	-92	-72	-52	-195	-130	-370	-210	-520	-840	-1300
Св. 30 до 40	0	-9	0	+8	+18	+33	+50	-25	0	+68	-50	+99	-80	-50	-25	0	-80	0	-170	0	0	0	0
Св. 40 до 50	-11	-25	-16	-8	+2	+17	+34	-50	-25	+43	-89	+109	-142	-112	-87	-62	-240	-160	-180	-250	-620	-1000	-1600
Св. 50 до 65	0	-10	0	+9,5	+21	+39	+60	-30	0	+83	-60	+133	-100	-60	-30	0	-100	0	-190	0	0	0	0
Св. 65 до 80	-13	-29	-19	-9,5	+2	+20	+62	-60	-30	+89	-106	+148	-174	-134	-104	-74	-290	-190	-200	-300	-740	-1200	-1900
Св. 80 до 100	0	-12	0	+11	+25	+45	+73	-36	0	+83	-72	+178	-120	-72	-36	0	-120	0	-220	0	0	0	0
Св. 100 до 120	-15	-34	-22	-11	+3	+23	+76	-71	-35	+89	-126	+198	-207	-159	-123	-87	-340	-220	-240	-350	-870	-1400	-2200

Интервалы размеров, мм	Поля допусков отверстий, мкм															Остальных, мкм		
	J _s 6	K6	H7	J _s 7	K7	N7	F8	H8	H9	H11	H12	H14	H15	H16	± JT14/2	± JT15/2	± JT16/2	
От 1 до 3	+3	0	+10	+5	0	-4	+20	+14	+25	+60	+100	+250	+400	+600	+100	+200	+300	
Св. 3 до 6	-3	-6	0	-5	-10	-14	+6	0	0	0	0	0	0	0	-100	-200	-300	
Св. 6 до 10	+4	+2	+12	+6	+3	-4	+28	+18	+30	+75	+120	+300	+480	+750	+120	+240	+375	
Св. 10 до 18	-4	-6	0	-6	-9	-16	+10	0	0	0	0	0	0	0	-120	-240	-375	
Св. 18 до 24	+4,5	+2	+15	+7	+5	-4	+35	+22	+36	+90	+130	+360	+580	+900	+145	+290	+450	
Св. 24 до 30	-4,5	-7	0	-7	-10	-19	+13	0	0	0	0	0	0	0	-145	-290	-450	
Св. 30 до 40	+5,5	+2	+18	+9	+6	-5	+43	+27	+43	+110	+180	+430	+700	+1100	+175	+350	+550	
Св. 40 до 50	-5,5	-9	0	-9	-12	-23	+16	0	0	0	0	0	0	0	-175	-350	-550	
Св. 50 до 65	+6,5	+2	+21	+10	+6	-7	+53	+33	+52	+130	+210	+520	+840	+1300	+210	+420	+650	
Св. 65 до 80	-6,5	-11	0	-10	-15	-28	+20	0	0	0	0	0	0	0	-210	-420	-650	
Св. 80 до 100	+8	+3	+25	+12	+7	-8	+64	+39	+62	+160	+250	+620	+1000	+1600	+250	+500	+800	
Св. 100 до 120	-8	-13	0	-12	-18	-33	+25	0	0	0	0	0	0	0	-250	-500	-800	
Св. 120 до 150	+9,5	+4	+30	+15	+9	-9	+76	+46	+74	+190	+300	+740	+1200	+1900	+300	+600	+950	
Св. 150 до 180	-9,5	-15	0	-15	-21	-39	+30	0	0	0	0	0	0	0	-300	-600	-950	
Св. 180 до 220	+11	+4	+35	+17	+10	-10	+90	+54	+87	+220	+350	+870	+1400	+2200	+350	+700	+1100	
Св. 220 до 280	-11	-18	0	-17	-25	-45	+36	0	0	0	0	0	0	0	-350	-700	-1100	

Лабораторная работа №4

«Технологическое обслуживание и ремонт электронных средств»

1. Цель работы

Целью работы является ознакомление студентов с практическим применением теории ремонтпригодности и профилактического обслуживания электронных средств (далее ЭС).

2. Основные сведения из теории

Электронное средство – изделие и его составные части, в основу функционирования которых положены принципы преобразования электромагнитной энергии. Под термином «электронная аппаратура» подразумевается любой тип радиоэлектронной, электронно-вычислительной и управляющей аппаратуры, построенной с использованием микроэлектронной элементной базы.

2.1. Требования, предъявляемые к ЭС

При разработке ЭС необходимо учитывать следующие требования:

1. Тактико-технические. Эти требования обычно содержатся в техническом задании на ЭС и включают в себя такие характеристики, как быстродействие, объем оперативной, постоянной и внешней памяти, адресность команд, разрядность машинного числа, точность выполнения операций и т. д.

2. Конструктивно-технологические. К этим требованиям относят: обеспечение функционально-узлового принципа построения конструкции ЭВМ, технологичность, минимальную номенклатуру комплектующих изделий, минимальные габариты и массу, наличие мер защиты от воздействия климатических и механических факторов, ремонтоспособность.

3. Эксплуатационные. К ним относят: простоту управления и обслуживания, наличие различных мер сигнализации опасных режимов работы, наличие в комплекте машины аппаратуры, обеспечивающей профилактический контроль и наладку конструктивных элементов (стенды, имитаторы сигналов и т. д.). С эксплуатационными требованиями тесно связаны требования обеспечения нормальной работы оператора.

4. Экономические требования. К этим требованиям относят минимально возможные затраты времени, труда и материальных средств на разработку, изготовление и эксплуатацию ЭВМ и минимальную стоимость машины после освоения ее в производстве.

5. Требования по надежности. Данные требования включают в себя обеспечение:

- 1) вероятности безотказной работы,
- 2) наработки на отказ,
- 3) среднего времени восстановления работоспособности,
- 4) долговечности,
- 5) сохраняемости.

Вероятность безотказной работы ЭС есть вероятность того, что в заданном интервале времени при заданных режимах и условиях работы в машине не произойдет ни одного отказа.

Наработкой на отказ ЭС называют среднюю продолжительность ее работы между отказами.

Среднее время восстановления работоспособности ЭС определяет среднее время на обнаружение и устранение одного отказа. Эта характеристика надежности является также важным эксплуатационным параметром.

Долговечностью ЭС называют продолжительность ее работы до полного износа с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта. Под полным износом при этом понимают состояние машины, не позволяющее ее дальнейшую эксплуатацию.

Сохраняемость ЭС – ее способность сохранять все технические характеристики после заданного срока хранения и транспортирования в определенных условиях.

Для поддержания ЭС в исправном состоянии необходимо не только в совершенстве знать и владеть ЭС, но и уметь организовать, и производить эксплуатацию ЭС на научных основах.

2.2. Эксплуатационные свойства ЭС

Эксплуатация – это совокупность работ и организационных мероприятий для поддержания ЭС в состоянии технической исправности.

Важным эксплуатационным свойством ЭС, характеризующими её возможность, является безотказность, готовность к выполнению основных функций и ремонтпригодность.

Под безотказностью понимается свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ можно представить как вероятность того, что время безотказной работы объекта больше некоторого заданного времени:

$$P(t) = P(t < t_0) \quad (1)$$

Возникновение отказа является случайным событием, поэтому время появления отказа также случайная величина.

Практически величина вероятности безотказной работы определяется статистическим путём по информации об отказах за выбранный промежуток времени, т. е. статистическая вероятность равна:

$$\bar{P}_i = \frac{N - n_i}{N}, \quad (2)$$

где N – число объектов вначале испытаний; n_i – число объектов, отказавших за время t_i .

При значительном числе объектов статистическая вероятность \bar{P}_i сходится к вероятности $P(t)$. Надёжность объекта иногда удобнее характеризовать вероятностью отказа

$$q(t) = 1 - P(t) = P(t > t_0) = P(t_0 < t) \quad (3)$$

2.3. Безотказность неремонтируемых объектов

Показателями безотказности неремонтируемых объектов (элементов) являются: вероятность безотказной работы $P(t)$, частота отказов $f(t)$, интенсивность отказов $\lambda(t)$ и средняя наработка до первого отказа T_{cp} .

Под частотой отказов элементов понимают число отказов в единицу времени, отнесённое к первоначальному числу поставленных на испытание элементов.

По статистическим данным частота отказов равна:

$$\bar{f}_i = \frac{\Delta n_i}{N \cdot \Delta t_i}, \quad (4)$$

где Δn_i – число отказов в интервале времени Δt_i ; N – число испытываемых элементов; Δt_i – время испытаний.

При этом отказавшие в процессе испытаний элементы не заменяются новыми, и число работающих элементов постепенно уменьшается.

Под интенсивностью отказов понимают число отказов в единицу времени, отнесённое к среднему числу элементов, безотказно работающих в данный промежуток времени. При этом отказавшие элементы не заменяются.

Из опытных данных эта характеристика рассчитывается по формуле:

$$\lambda = \frac{\Delta n_i}{N_{cp} \cdot \Delta t_i}, \quad (5)$$

где $N_{cp} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$ – среднее число работоспособных элементов; N_i – число элементов работоспособных в начале рассматриваемого промежутка времени; N_{i+1} – число элементов, работоспособных в конце промежутка времени Δt_i .

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ связана однозначной зависимостью с $f(t)$ и $P(t)$:

$$\lambda_i = \frac{\bar{f}_i}{\bar{P}_i}. \quad (6)$$

При наличии групп различных элементов получим

$$\lambda_{KN}(t) = \sum_{i=1}^K N_i \lambda_i(t) \quad (7)$$

Средней наработкой до первого отказа называется математическое ожидание времени работы до первого отказа. По данным испытаний, T_{cp} однотипных элементов определяется как

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^N \frac{t_i}{N} \quad (8)$$

где t_i – время исправной работы i -го элемента; N – общее число испытанных элементов.

Практически же знать время продолжительности исправной работы t_i всех элементов не представляется возможным. Тогда T_{cp} определяется по формуле:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m (\Delta n_i \cdot t_{cp,i})}{N} \quad (9)$$

где Δn_i – количество отказавших элементов в интервале времени $\Delta t = t_{i+1} - t_i$; t_i – время в начале i -го интервала, при этом $t_{cp,i} = \frac{t_i + t_{i+1}}{2}$ и $m = \frac{t_N}{\Delta t}$; t_N – время в течение которого отказали все элементы.

2.4. Безотказность ремонтируемых объектов

Для ремонтируемых объектов характерно чередование исправного состояния и ремонта после отказа, т. е. процесс их эксплуатации можно представить как последовательное чередование интервалов времени работоспособности и неработоспособного состояний. Появление отказов в каждом из объектов можно рассматривать как поток требований для ремонта.

Показателями безотказности ремонтируемых объектов являются: вероятность безотказной работы $P(t)$, параметр потоков отказов $\omega(t)$, средняя наработка на отказ \bar{T}_0 .

Параметр потока отказов (среднее число отказов за время рассматриваемого потока)

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta n_i}{N \cdot \Delta t} \quad (10)$$

При этом число элементов в процессе испытаний остаётся неизменным (отказавшие элементы заменяются новыми).

В сложном объекте (устройстве) результирующий поток отказов ω равен сумме потоков отказов отдельных устройств:

$$\omega_N = \sum_{i=1}^N \omega_i \quad (11)$$

Для ремонтируемых объектов удобным для практики критерием надёжности является среднее число часов работы между соседними отказами, обычно называемое наработкой на отказ \bar{T}_0 , которая определяется по формуле

$$\bar{T}_0 = \frac{t_{\Sigma}}{n} \quad (12)$$

Если испытаниям подвергаются N однотипных объектов, то \bar{T}_0

$$\bar{T}_0 = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (13)$$

Для простейшего потока

$$\bar{\omega} = \frac{1}{T_0} \quad (14)$$

2.5. Готовность

Свойство и факторы, определяющие уровень готовности ЭС, по своей природе являются случайными, т. к. они зависят от большого числа случайных характеристик и параметров (наличие возможных отказов, характер требуемого ремонта и регулировок, техническое состояние аппаратуры и т. д.). Поэтому показатели готовности ЭС носят вероятностно-статистический характер.

Показателями готовности являются: коэффициент готовности K_G , коэффициент оперативной готовности $K_{О.Г.}$, коэффициент технического использования $K_{Т.И.}$.

Коэффициент готовности K_G – вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта по назначению не предусматривается (плановый ремонт, плановое техническое обслуживание и т. д.).

Коэффициент готовности для большинства ремонтируемых объектов имеет вид:

$$K_G = \frac{T_0}{T_0 + T_{Т.Р.}} \quad (15)$$

Из формулы видно, что величина K_{Γ} может быть повышена как за счёт увеличения наработки на отказ T_0 , так и за счёт сокращения средней продолжительности текущего ремонта $T_{\Gamma.P.}$.

Коэффициент оперативной готовности $K_{O.\Gamma.}$ – это вероятность того, что объект, находясь в режиме ожидания, окажется работоспособным в произвольный момент времени и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

$$K_{O.\Gamma.} = K_{\Gamma} \cdot P(t), \quad (16)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы в течение заданного времени.

Коэффициент технического использования находится по формуле:

$$K_{\Gamma.И.} = \frac{T_{0\Sigma}}{T_{0\Sigma} + T_{P\Sigma} + T_{T0\Sigma}}, \quad (17)$$

где $T_{0\Sigma}$ – суммарная наработка всех объектов; $T_{P\Sigma}$ – суммарное время простоев из-за плановых и внеплановых ремонтов всех объектов; $T_{T0\Sigma}$ – суммарное время простоев из-за планового и внепланового технического обслуживания всех объектов.

Ремонтпригодность

В современной ЭС рост количества комплектующих элементов опережает рост их безотказной работы, что приводит к уменьшению среднего времени безотказной работы и увеличению времени вынужденного простоя аппаратуры. Поэтому приходится уделить особое внимание ремонтпригодности, как одной из проблем обеспечения надёжности ЭС.

Под ремонтпригодностью понимают свойство ЭС, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и восстановлению работоспособного состояния путём проведения технического обслуживания и ремонта. Показатели ремонтпригодности вводятся для ремонтируемых объектов. Для ремонтируемых объектов удобным для практики критерием надёжности является среднее число часов работы между двумя соседними отказами, обычно называемое наработкой на отказ T_0 .

Если ЭС определённого типа проработала суммарное время t_{Σ} и имела при этом n отказов в работе, то наработка на отказ T_0 определяется по формуле

$$T_0 = \frac{t_{\Sigma}}{n}. \quad (18)$$

Если же испытаниям подвергаются N однотипных объектов то

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N n_i}, \quad (19)$$

Процесс ремонта, заключающийся в обнаружении и устранении отказа, является случайным. В качестве случайной величины берётся среднее время ремонта, которое складывается из времени, затрачиваемого на обнаружение отказа, поиск причин его возникновения и устранение последствий отказа.

Для количественной оценки ремонтпригодности применяются два показателя: средняя продолжительность текущего ремонта $T_{\Gamma.P.}$; средняя продолжительность технического обслуживания $T_{\Gamma.O.}$.

Средняя продолжительность текущего ремонта есть математическое ожидание времени восстановления работоспособности:

$$T_{\text{Т.Р.}} = \int_0^{\infty} T_{\text{Р.}i} f(t_i) dt, \quad (20)$$

где $T_{\text{Р.}i}$ – время ремонта i -го объекта; $f(t_i)$ – плотность распределения случайной величины времени ремонта.

В процессе эксплуатации ведётся учёт отказов и времени ремонтов. Тогда за отдельное время t по статистическим данным средняя продолжительность текущего ремонта находится по формуле

$$T_{\text{Т.Р.}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{Р.}i}}{n}, \quad (21)$$

где n – количество отказов за время t .

Величина обратная средней продолжительности текущего ремонта называется интенсивностью ремонта μ_p и характеризует количество ремонтов, произведённых в единицу времени и вычисляется по формуле

$$\mu_p = \frac{1}{T_{\text{Т.Р.}}}, \quad (22)$$

где количество ремонтов можно найти по формуле

$$\bar{T}_{\text{Р.}i} = \sum_{j=1}^{m_p} t_{\text{Р.}j}, \quad (23)$$

где $t_{\text{Р.}j}$ – среднее время работы при выполнении j -й операции при i -м ремонте; m_p – число операций при выполнении i -го ремонта.

При экспоненциальном распределении времени ремонта нижнюю $T_{\text{Р.Н}}$ и верхнюю $T_{\text{Р.В.}}$ границы среднего времени ремонта находят из выражений:

$$T_{\text{Р.Н}} = \bar{T}_{\text{Р.}} \cdot r_2, \quad (24)$$

$$T_{\text{Р.В.}} = \bar{T}_{\text{Р.}} \cdot r_1, \quad (25)$$

Коэффициенты r_1 и r_2 определяются по формулам:

$$r_1 = \frac{2n}{\chi^2[P(\epsilon), 2n]}, \quad (26)$$

$$r_2 = \frac{2n}{\chi^2[1 - P(\epsilon), 2n]} \quad (27)$$

Значение коэффициентов r_1 и r_2 табулированы для различных вероятностей $P(\epsilon)$ и n , и приведены в табл. 1 прил. 1.

Если время ремонта подчиняется закону Эрланга, распределение плотности вероятности $\Psi(t_p)$ статистической оценки для неизвестного среднего времени ремонта $\bar{T}_{\text{Р.}}$ имеет вид:

$$\Psi(t_p) = \frac{2^{2n} n}{T_{\text{Р.}}^{2n} \Gamma(2n)} (t_p)^{2n-1} e^{-\frac{2nt_p}{T_{\text{Р.}}}} \quad (28)$$

По формуле рассчитывается вероятность попадания величины $\bar{T}_{\text{Р.}}$ в заданные пределы, т.

е. рассчитывается доверительная вероятность. Для различных значений доверительной вероятности $P(\epsilon)$ и числа опытов n рассчитаны коэффициенты δ_1 и δ_2 для параметра \bar{T}_p , которые табулированы и приведены в табл.2 прил. 1. Значения $T_{p.H.}$ и $T_{p.B.}$ находятся по формулам:

$$T_{p.H.} = \frac{\bar{T}_p}{\delta_2}, \quad (29)$$

$$T_{p.B.} = \frac{\bar{T}_p}{\delta_1} \quad (30)$$

2.6. Периодичность и продолжительность профилактических работ

При эксплуатации ЭС возникает два вида отказов – внезапные и постепенные.

Появление внезапных отказов представляет собой простейший поток случайных событий, поэтому прогнозировать их не представляется возможным (их устраняют по мере возникновения).

Постепенные отказы возникают в результате постепенного изменения параметров элементов аппаратуры, что позволяет прогнозировать и предотвращать их профилактическими мероприятиями при проведении технического обслуживания. Однако следует учитывать, что при увеличении объёма и общего времени профилактики в течение года, уменьшается коэффициент технического использования ЭС (3.17).

В качестве основного критерия для выбора оптимального периода проведения профилактических работ целесообразно принять коэффициент простоя $K_{п.}$

$$K_{п.} = \frac{\tau_{т.о.} + T_{т.о.} + T_{о.п.}}{T_{о.п.}}, \quad (31)$$

где $\tau_{т.о.}$ – время между профилактиками; $T_{т.о.}$ – средняя продолжительность выполнения профилактики; $T_{о.п.}$ – наработка (работоспособное состояние) между двумя профилактиками.

Для определения оптимального периода времени между профилактиками можно воспользоваться выражением:

$$\tau_{т.о.} = \sqrt{\frac{2T_{т.о.}}{\lambda_n}}, \quad (32)$$

где λ_n – интенсивность отказов при проведении профилактики. Для случая экспоненциального распределения отказов:

$$\tau_{т.о.} = \sqrt{2 \cdot T_{т.о.} \cdot T_{о.п.}}, \quad (33)$$

При определении периода проведения профилактических работ на аппаратуре, которая определённую часть времени используется по назначению, а остальное время находится в выключенном состоянии, необходимо учитывать как интенсивность отказов аппаратуры во время её работы – λ_1 так и во время, когда она находится в выключенном состоянии λ_2 . Соотношение между временем включенного и выключенного состояний характеризуется коэффициентом эксплуатации:

$$K_{и.} = \frac{\sum_{i=1}^{n_b} t_i}{t_k}, \quad (34)$$

где t_i – время работы аппаратуры при i -том включении; n_b – число включений за время t_k ; t_k – календарное время работы аппаратуры.

Тогда суммарная интенсивность отказов находится по формуле

$$\lambda_c = K_{И} \cdot \lambda_1 + (1 - K_{И}) \lambda_2, \quad (35)$$

С учётом (35) (т.е. вместо λ_n подставив λ_c), выражение (31) можно записать:

$$\tau_{Т.О.} = \sqrt{\frac{2T_{Т.О.}}{K_{И} \cdot \lambda_1 + (1 - K_{И}) \lambda_2}}, \quad (33)$$

Если отказами в выключенном состоянии аппаратуры пренебречь, то время между профилактиками можно найти по формуле

$$\tau_{Т.0} = \sqrt{\frac{2T_{Т.0}}{K_{И} \cdot \lambda_n}}, \quad (34)$$

В связи с миниатюризацией аппаратуры, обусловленной внедрением высоконадёжных интегральных микросхем и других изделий электронной техники, повышающих надёжность, стабильность характеристик и параметров аппаратуры, расчёт периодичности профилактических работ по формулам (31), (33), (34) может дать завышенные результаты. В действительности профилактические работы необходимо проводить реже. Тогда формула (34), которая наиболее часто используется в расчётах, будет иметь вид

$$\tau_{Т.ОС} = K_{СТ} \sqrt{\frac{2T_{Т.0}}{K_{И} \cdot \lambda_n}}, \quad (35)$$

где $K_{СТ}$ – коэффициент, учитывающий стабильность параметров аппаратуры, который определяется по результатам эксплуатации или специальных испытаний.

Для дежурной аппаратуры, которая небольшую часть времени работает под током, а остальное время находится в обесточенном состоянии, при выборе периодичности профилактических работ можно пользоваться формулами (33), (34) или (35). Если же условие противоположное, то можно пренебречь влиянием на безотказность величин λ_2 и $K_{И}$, и период $\tau_{Т.0}$ следует вычислять по формуле (31).

Если же аппаратура является аппаратурой разового действия, то величина $\tau_{Т.0}$ определяется

$$\tau_{Т.0} = \sqrt{\frac{2T_{Т.0}}{\lambda_{xp}}}, \quad (36)$$

где λ_{xp} – интенсивность отказов в режиме хранения.

3. Примеры решения задач

Задача 1. В результате наблюдения за $N=20$ неремонтируемыми объектами ЭС получены данные до первого отказа всех 20 образцов, сведенные в таблицу.

Δt_i , ч	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
Δn_i	3	1	0	5	9	2

Требуется определить вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, построить график этих функций, а также найти среднюю наработку до первого отказа \bar{T}_{cp} .

Решение. Определим вероятность безотказной для каждого интервала работы по формуле (2)

$$\bar{P}_i = \frac{N - n_i}{N}$$

где N – число объектов вначале испытаний ($N = 20$); n_i – число объектов, отказавших за время t_i (для интервала от 0 до 5 $n_i = 3$, для интервала от 5 до 10 $n_i = 3+1=4$, для интервала от 10 до 15 $n_i = 3+1+0=4$, для интервала от 15 до 20 $n_i = 3+1+0+5=9$, для интервала от 20 до 25 $n_i = 3+1+0+5+9=18$, для интервала от 25 до 30 $n_i = 3+1+0+5+9+2=20$).

В итоге имеем:

$$\bar{P}_{0-5} = \frac{20-3}{20} = 0,85;$$

$$\bar{P}_{5-10} = \frac{20-4}{20} = 0,8;$$

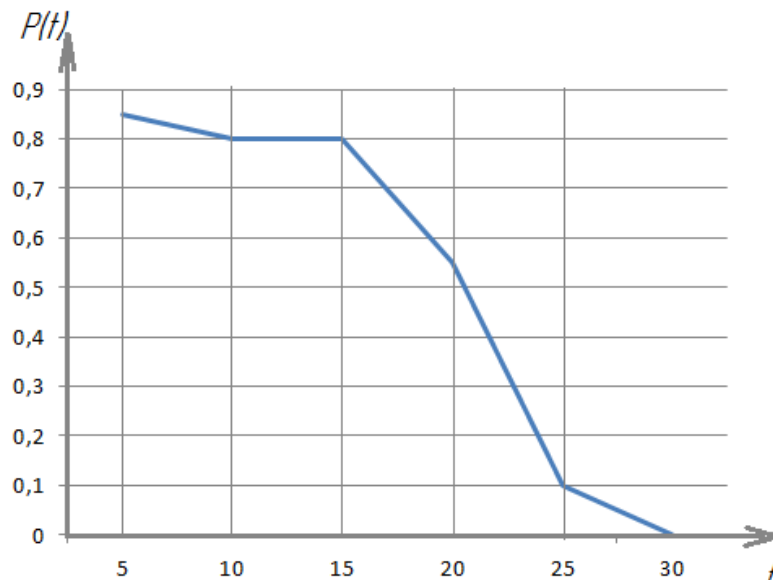
$$\bar{P}_{10-15} = \frac{20-4}{20} = 0,8;$$

$$\bar{P}_{15-20} = \frac{20-9}{20} = 0,55;$$

$$\bar{P}_{20-25} = \frac{20-18}{20} = 0,1;$$

$$\bar{P}_{25-30} = \frac{20-20}{20} = 0.$$

Построим график этой функции.



Определим интенсивность отказов для каждого интервала работы по формуле (5)

$$\lambda = \frac{\Delta n_i}{N_{cp} \cdot \Delta t_i},$$

где $N_{cp} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$ – среднее число работоспособных элементов; N_i – число элементов работоспособных в начале рассматриваемого промежутка времени; N_{i+1} – число элементов, работоспособных в конце промежутка времени Δt_i .

$N_{cp,0-5} = \frac{20 + (20 - 3)}{2} = \frac{20 + 17}{2} = 18,5$ (на начало промежутка от 0 до 5 работало 20 ЭС, за промежуток сломалось 3, следовательно на конец промежутка работало 17).

$N_{cp,5-10} = \frac{17 + (17 - 1)}{2} = \frac{17 + 16}{2} = 16,5$ (на начало промежутка от 5 до 10 работало 17 ЭС, за промежуток сломалось 1, следовательно на конец промежутка работало 16).

$N_{cp,10-15} = \frac{16 + 16}{2} = 16$ (на начало промежутка от 10 до 15 работало 16 ЭС, за промежуток сломалось 0, следовательно на конец промежутка работало 16).

$$N_{cp.15-20} = \frac{16 + (16 - 5)}{2} = \frac{16 + 11}{2} = 13,5;$$

$$N_{cp.20-25} = \frac{11 + (11 - 9)}{2} = \frac{11 + 2}{2} = 6,5;$$

$$N_{cp.25-30} = \frac{2 + (2 - 2)}{2} = \frac{2 + 0}{2} = 1.$$

Рассчитаем интенсивность отказов:

$$\lambda_{0-5} = \frac{3}{18,5 \cdot 5} = 0,03; \quad (\text{количество ЭС сломавшихся в интервале от 0 до 5} - 3, N_{cp}=18,5, \text{ промежуток времени } \Delta t=5-0=5)$$

$$\lambda_{5-10} = \frac{1}{16,5 \cdot 5} = 0,012;$$

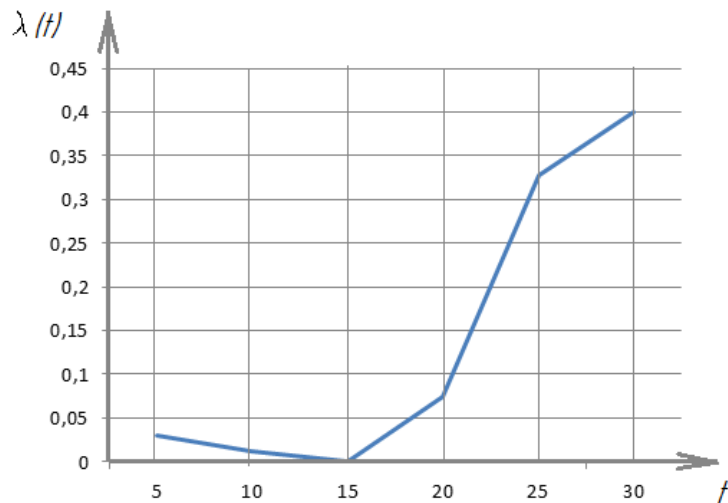
$$\lambda_{10-15} = \frac{0}{16 \cdot 5} = 0;$$

$$\lambda_{15-20} = \frac{5}{13,5 \cdot 5} = 0,074;$$

$$\lambda_{20-25} = \frac{9}{5,5 \cdot 5} = 0,327;$$

$$\lambda_{25-30} = \frac{2}{1 \cdot 5} = 0,4;$$

Построим график функции:



Определим T_{cp} по формуле (9):

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m (\Delta n_i \cdot t_{cp.i})}{N}$$

где Δn_i – количество отказавших элементов в интервале времени $\Delta t = t_{i+1} - t_i$; t_i – время в начале i -го интервала, при этом $t_{cp.i} = \frac{t_i + t_{i+1}}{2}$ и $m = \frac{t_N}{\Delta t}$; t_N – время в течение которого отказали все элементы.

$$T_{cp} = \frac{3 \cdot \frac{0+5}{2} + 1 \cdot \frac{5+10}{2} + 0 \cdot \frac{10+15}{2} + 5 \cdot \frac{15+20}{2} + 9 \cdot \frac{20+25}{2} + 2 \cdot \frac{25+300}{2}}{20} = 18 \text{ч.}$$

Задача 2. Проводилось испытание трёх экземпляров однотипной аппаратуры. За период испытаний было зафиксировано по первому экземпляру аппаратуры 6 отказов, по второму и третьему – 10 и 7 соответственно. Нарботка первого экземпляра составила 4800ч, второго – 6240ч и третьего – 5500ч. Определить наработку аппаратуры на отказ T_0 .

Решение. Определим суммарную наработку трёх образцов аппаратуры:

$$t_{\Sigma} = 4800 + 6240 + 5500 = 16560 \text{ч.}$$

Определим суммарное количество отказов:

$$n_{\Sigma} = 6 + 10 + 7 = 23.$$

Найдём наработку аппаратуры на отказ

$$T_0 = \frac{t_{\Sigma}}{n_{\Sigma}} = \frac{16560}{23} = 720.$$

Задача 3. ЭС к началу наблюдения за отказами проработала 458ч. К концу наблюдения наработка составила 2783ч. Всего зарегистрировано 5 отказов. Среднее время ремонта составила 1,5ч. Определить наработку на отказ T_0 и K_{Γ} .

Решение. Найдём среднюю наработку на отказ по формуле (12):

$$T_0 = \frac{2783 - 458}{5} = 465 \text{ч.}$$

Коэффициент готовности находится по формуле (15):

$$K_{\Gamma} = \frac{T_0}{T_0 + T_p} = \frac{465}{465 + 1,5} = 0,997.$$

Задача 4. В результате эксплуатации $N=200$ ремонтируемых объектов получены следующие статистические данные

Δn_i	56	50	50	46	44
$\Delta t \cdot 10^3, \text{ч}$	2	2	2	2	2

Найти параметр потока отказов $\bar{\omega}$ и среднюю наработку на отказ \bar{T}_0 . Для потока отказов построить гистограмму.

Решение. Определим параметр потока отказов по формуле

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta n_i}{N \cdot \Delta t},$$

тогда

$$\bar{\omega}_1 = \frac{56}{200 \cdot 2000} = 1,4 \cdot 10^{-4};$$

$$\bar{\omega}_2 = \frac{50}{200 \cdot 2000} = 1,25 \cdot 10^{-4};$$

$$\bar{\omega}_3 = \frac{50}{200 \cdot 2000} = 1,25 \cdot 10^{-4};$$

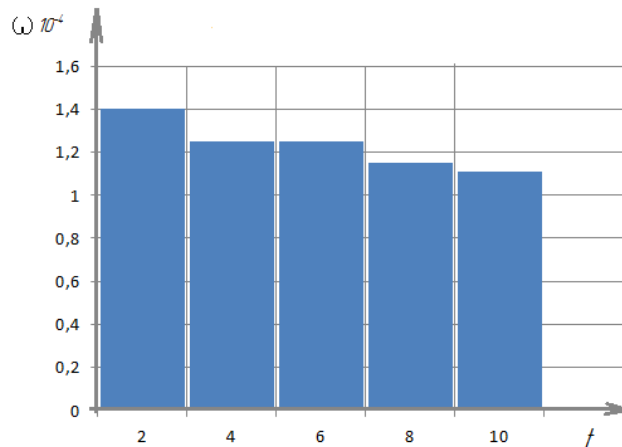
$$\bar{\omega}_4 = \frac{46}{200 \cdot 2000} = 1,15 \cdot 10^{-4};$$

$$\bar{\omega}_5 = \frac{44}{200 \cdot 2000} = 1,11 \cdot 10^{-4}.$$

Определим среднюю наработку на отказ по формуле (13):

$$\bar{T}_0 = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N n_i} = \frac{2 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^3}{56 + 50 + 50 + 46 + 44} = 0,04 \cdot 10^3 = 40.$$

Построим гистограмму:



Задача 5. Имеется комплект однотипной аппаратуры работающей в одинаковых условиях. Число отказов, промежутки времени исправной работы между соседними отказами и время работы по каждому комплекту приведены в таблице. Необходимо определить наработку на отказ и коэффициент готовности одного комплекта.

Номера комплектов	t_1	T_{p1}	t_2	T_{p2}	t_3	T_{p3}	t_4	T_{p4}	t_5	T_{p5}	t_6	T_{p6}	Кол-во отказов
1	23	0,5	25	1,0	32	0,5	18	0,4	22	0,5	25	1,1	6

Решение:

Определим наработку на отказ по формуле (18)

$$T_0 = \frac{t_{\Sigma}}{n} = \frac{23 + 25 + 32 + 18 + 22 + 25}{6} = 24,167.$$

Определим среднее время текущего ремонта по формуле (21):

$$T_{T.P.} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{P,i}}{n} = \frac{0,5 + 1,0 + 0,5 + 0,4 + 0,5 + 1,1}{6} = 0,667.$$

Определим коэффициент готовности по формуле (15):

$$K_G = \frac{T_0}{T_0 + T_{T.P.}} = \frac{24,167}{24,167 + 0,667} = 0,973.$$

Задача 6. Из-за возникших в системе $n=10$ отказов на восстановление работоспо-

собности было затрачено до 20ч. Определить доверительный интервал параметра \bar{T}_p с доверительной вероятностью $P(\epsilon) = 0,95$ при экспоненциальном распределении времени ремонта.

Решение. Найдем среднее время ремонта по формуле (21)

$$\bar{T}_p = \frac{20\text{ч}}{10} = 2\text{ч}$$

Для нахождения доверительного интервала необходимо определить верхнюю и нижнюю границу регулирования по формулам (29), (30). По табл.1 прил.1 находим $r_1=1,83$ и $r_2=0,64$ (при $n = 10$ отказам и $P(\epsilon)=0,95$). Тогда

$$T_{p.H.} = T_p \cdot r_2 = 2 \cdot 0,64 = 1,284, \quad T_{p.B.} = T_p \cdot r_1 = 2 \cdot 1,83 = 3,66$$

$$I_\epsilon = (1,28 \div 3,66) \text{ ч.}$$

Задача 7. Нарботка на отказ аппаратуры при экспоненциальном законе надежности и без проведения профилактических работ составила $T_0=400$ ч. При проведении профилактических работ длительностью $T_{T.0} = 6$ ч наработка на отказ составила 900 ч. Среднее время ремонта $T_p = 8$ ч. Коэффициент интенсивности эксплуатации $K_{И} = 0,2$. Интенсивность отказов в выключенном состоянии $\lambda_2 = 2 \cdot 10^{-6}$ ч, в рабочем $\lambda_1 = 4,3 \cdot 10^{-3}$. Определить $\tau_{T.0}$.

Решение. Найдем время между профилактиками по формуле (33)

$$\tau_{T.0} = \sqrt{\frac{2T_{T.0}}{K_{И} \cdot \lambda_1 + (1 - K_{И})\lambda_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6}{0,2 \cdot 4 \cdot 10^{-3} + (1 - 0,2) \cdot 2 \cdot 10^{-6}}} = 122,47.$$

4. Порядок выполнения работы. Задание

1. Ознакомиться с теоретическим содержанием работы и решением типовых задач в каждой главе.
2. Решить задачи согласно своему варианту.

Задачи для самостоятельного решения.

Вариант 1

1. На испытание поставлено $N=750$ изделий. За время $t=1500$ ч отказало $n=250$ изделий. За последующие $\Delta t_i=200$ ч отказало еще $\Delta n_i=80$ изделий. Определить $\bar{P}(1500)$, $\bar{P}(1700)$, $\bar{f}(1600)$, $\lambda(1600)$.

2. В результате наблюдения за $N=80$ неремонтируемыми объектами ЭС получены данные до первого отказа всех 80 образцов, сведенные в таблицу.

Δt_i , ч	Δn_i	Δt_i , ч	Δn_i	Δt_i , ч	Δn_i
0-5	2	30-35	12	60-65	5
5-10	0	35-40	9	65-70	0
10-15	5	40-45	7	70-75	4
15-20	5	45-50	6	75-80	1
20-25	6	50-55	2	-	-
25-30	12	55-60	4	-	-

Требуется определить вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, построить график этих функций, а также найти среднюю наработку до первого отказа \bar{T}_{cp} .

3. Прибор к началу испытаний проработал 23ч. К концу испытаний наработка составила 13400ч. Зарегистрировано 21 отказов. Определить среднюю наработку на отказ \bar{T}_0 .

4. В результате эксплуатации $N=130$ ремонтируемых объектов получены следующие статистические данные

Δn_i	56	50	50	46	44	45	38	26	20	18	18	10	10	8
$\Delta t \cdot 10^3$, ч	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Найти параметр потока отказов $\bar{\omega}$ и среднюю наработку на отказ \bar{T}_0 . Для потока отказов построить гистограмму.

5. Имеется 5 комплектов однотипной аппаратуры работающих в одинаковых условиях. Число отказов, промежутки времени исправной работы между соседними отказами и время работы по каждому комплекту приведены в таблице. Необходимо определить наработку на отказ и коэффициент готовности одного комплекта.

Номера комплектов	t_1	T_{p1}	t_2	T_{p2}	t_3	T_{p3}	t_4	T_{p4}	t_5	T_{p5}	t_6	T_{p6}	Кол-во отказов
1	20	0,5	27	1,0	30	0,6	18	0,4	22	0,7	25	1,1	6
2	25	0,49	20	0,56	26	0,7	29	0,9	-	-	-	-	4
3	32	1,12	30	1,0	28	0,9	-	-	-	-	-	-	3
4	34	1,3	32	1,0	28	0,9	30	0,8	40	0,5	-	-	5
5	32	0,25	38	0,8	30	0,98	36	0,5	-	-	-	-	4

6. При эксплуатации объекта в течении года его средняя наработка составила $T_{0\Sigma} = 8200$ ч, суммарное время ремонтов $T_{p\Sigma} = 520$ ч и суммарное время технического обслуживания $T_{To\Sigma} = 480$ ч. Определить коэффициент технического использования $K_{Т.И.}$.

7. При эксплуатации радиоэлектронного устройства было зарегистрировано $n=30$ отказов, из них отказало полупроводниковых приборов (ПП)–10, резисторов и конденсаторов

(РиК)–4, трансформаторов и дросселей (ТиД)–8, интегральных микросхем (ИМС)–8. На ремонт после выхода из строя ПП затрачивалось 10 мин, для РиК–9 мин, для ТиД–8 мин, для ИМС–23 мин. Найти среднее время ремонта $\bar{T}_{Т.Р.}$.

8. На испытание было поставлено 40 ремонтируемых устройств. За время испытания отказало 14 устройств, время ремонта которых составило в часах: 3,7; 3,2; 5,4; 2,9; 4,7; 5,2; 3,8; 3,9; 4,1; 5,1; 2,3; 4,4; 4,5; 4,0. Определить доверительный интервал для \bar{T}_p с доверительной вероятностью $P(\epsilon) = 0,9$ при экспоненциальном распределении времени ремонта.

9. Определить объем испытаний при условии, чтобы оценка среднего времени ремонта \bar{T}_p с вероятностью $P(\epsilon) = 0,95$ не отличалась от верхней доверительной границы более чем в полтора раза при экспоненциальном законе распределения времени ремонта.

10. Определить объем испытаний при условии, чтобы оценка среднего времени ремонта \bar{T}_p с вероятностью $P(\epsilon) = 0,95$ не отличалась от нижней доверительной границы более чем в 1,5 раза при распределении времени ремонта по закону Эрланга.

11. При эксплуатации устройства было зарегистрировано $n=30$ отказов. Распределение отказов по группам элементов и время затраченное на ремонт приведены в таблице:

Группа элементов	Кол-во отказов по группе	Время ремонта, мин. T_p
ЭВП	10	60; 73; 79; 89; 74; 67; 75; 81; 80; 65
Полупроводниковые приборы	7	20; 30; 89; 39; 41; 50; 65
Резисторы и конденсаторы	6	26; 29; 32; 39; 40; 38
ИМС	4	60; 62; 58; 48
Прочие элементы	3	130; 170; 125

Определить среднюю продолжительность текущего ремонта $T_{Т.Р.}$; интенсивность ремонта μ_p .

12. Нарботка на отказ аппаратуры при экспоненциальном законе надежности и без проведения профилактических работ составила $T_0=400$ ч. При проведении профилактических работ длительностью $T_{Т.0}=8$ ч наработка на отказ составила 900 ч. Среднее время ремонта $T_p = 8$ ч. Коэффициент интенсивности эксплуатации $K_{И} = 0,3$. Интенсивность отказов в выключенном состоянии $\lambda_2 = 2 \cdot 10^{-6}$ ч, в рабочем $\lambda_1 = 4,3 \cdot 10^{-3}$. Определить $\tau_{Т.0}$, а также $K_{Г}$ без профилактики и при проведении профилактики.

Вариант 2

1. На испытание поставлено $N=600$ изделий. За время $t=1000$ ч отказало $n=200$ изделий. За последующие $\Delta t_i=100$ ч отказало еще $\Delta n_i=50$ изделий. Определить $\bar{P}(1000)$, $\bar{P}(1100)$, $\bar{f}(1050)$, $\lambda(1050)$.

2. В результате наблюдения за $N=70$ неремонтируемыми объектами ЭС получены данные до первого отказа всех 70 образцов, сведенные в таблицу.

$\Delta t_i, \text{ ч}$	Δn_i	$\Delta t_i, \text{ ч}$	Δn_i	$\Delta t_i, \text{ ч}$	Δn_i
0-5	2	30-35	9	60-65	3
5-10	0	35-40	7	65-70	0
10-15	5	40-45	7	70-75	4
15-20	4	45-50	6	75-80	1
20-25	6	50-55	2	-	-
25-30	10	55-60	4	-	-

Требуется определить вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, построить график этих функций, а также найти среднюю наработку до первого отказа $\bar{T}_{\text{ср}}$.

3. Прибор к началу испытаний проработал 200ч. К концу испытаний наработка составила 1500ч. Зарегистрировано 17 отказов. Определить среднюю наработку на отказ \bar{T}_0 .

4. В результате эксплуатации $N=100$ ремонтируемых объектов получены следующие статистические данные

Δn_i	46	46	42	38	35	33	30	26	20	18	18	10	10	8
$\Delta t \cdot 10^3, \text{ ч}$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Найти параметр потока отказов $\bar{\omega}$ и среднюю наработку на отказ \bar{T}_0 . Для потока отказов построить гистограмму.

5. Имеется 5 комплектов однотипной аппаратуры работающих в одинаковых условиях. Число отказов, промежутки времени исправной работы между соседними отказами и время работы по каждому комплекту приведены в таблице. Необходимо определить наработку на отказ и коэффициент готовности одного комплекта.

Номера комплектов	t_1	T_{p1}	t_2	T_{p2}	t_3	T_{p3}	t_4	T_{p4}	t_5	T_{p5}	t_6	T_{p6}	Кол-во отказов
1	25	0,4	25	1,0	20	0,6	18	0,42	22	0,7	20	1,1	6
2	20	0,42	15	0,5	26	0,7	29	0,95	-	-	-	-	4
3	28	1,15	25	1,0	28	0,9	-	-	-	-	-	-	3
4	30	1,3	28	1,0	28	0,9	30	0,8	40	0,5	-	-	5
5	27	0,25	36	0,8	30	0,9	36	0,56	-	-	-	-	4

6. При эксплуатации объекта в течении года его средняя наработка составила $T_{0\Sigma} = 8200\text{ч}$, суммарное время ремонтов $T_{p\Sigma} = 400$ ч и суммарное время технического обслуживания $T_{\text{ТО}\Sigma} = 150$ ч. Определить коэффициент технического использования $K_{\text{Т.И.}}$.

7. При эксплуатации радиоэлектронного устройства было зарегистрировано $n=26$ отказов, из них отказало полупроводниковых приборов (ПП)–8, резисторов и конденсаторов (РиК) –4, трансформаторов и дросселей (ТиД) –8, интегральных микросхем (ИМС) –6. На

ремонт после выхода из строя ПП затрачивалось 12 мин, для Рик–10 мин, для Тид–8 мин, для ИМС–27 мин. Найти среднее время ремонта $\bar{T}_{Т.Р.}$.

8. На испытание было поставлено 40 ремонтируемых устройств. За время испытания отказало 15 устройств, время ремонта которых составило в часах: 3,7; 3,8; 5,4; 2,9; 5,6; 5,2; 4,8; 3,9; 4,1; 5,1; 2,3; 4,4; 4,5; 4,0; 5,3. Определить доверительный интервал для \bar{T}_p с доверительной вероятностью $P(\epsilon) = 0,9$ при экспоненциальном распределении времени ремонта.

9. Определить объем испытаний при условии, чтобы оценка среднего времени ремонта \bar{T}_p с вероятностью $P(\epsilon) = 0,95$ не отличалась от верхней доверительной границы более чем в полтора раза при экспоненциальном законе распределения времени ремонта.

10. Определить объем испытаний при условии, чтобы оценка среднего времени ремонта \bar{T}_p с вероятностью $P(\epsilon) = 0,95$ не отличалась от нижней доверительной границы более чем в 1,5 раза при распределении времени ремонта по закону Эрланга.

11. При эксплуатации устройства было зарегистрировано $n=30$ отказов. Распределение отказов по группам элементов и время затраченное на ремонт приведены в таблице:

Группа элементов	Кол-во отказов	Время ремонта, мин. T_p
ЭВП	10	60; 73; 79; 89; 74; 67; 75; 81; 80; 65
Полупроводниковые	7	20; 30; 89; 39; 41; 50; 65
Резисторы и	6	26; 29; 32; 39; 40; 38
ИМС	4	60; 62; 58; 48
Прочие элементы	3	130; 170; 125

Определить среднюю продолжительность текущего ремонта $T_{Т.Р.}$; интенсивность ремонта μ_p .

12. Нарботка на отказ аппаратуры при экспоненциальном законе надежности и без проведения профилактических работ составила $T_0=400$ ч. При проведении профилактических работ длительностью $T_{Т.0}=8$ ч наработка на отказ составила 900 ч. Среднее время ремонта $T_p = 8$ ч. Коэффициент интенсивности эксплуатации $K_{И} = 0,3$. Интенсивность отказов в выключенном состоянии $\lambda_2 = 2 \cdot 10^{-6}$ ч, в рабочем $\lambda_1 = 4,3 \cdot 10^{-3}$. Определить $\tau_{Т.0}$, а также $K_{Г}$ без профилактики и при проведении профилактики.

Вариант 3

1. На испытание поставлено $N=500$ изделий. За время $t=2000$ ч отказало $n=200$ изделий. За последующие $\Delta t_i=100$ ч отказало еще $\Delta n_i=100$ изделий. Определить $\bar{P}(2000)$, $\bar{P}(2100)$, $\bar{f}(2050)$, $\lambda(2050)$.

2. В результате наблюдения за $N=45$ неремонтируемыми объектами ЭС получены данные до первого отказа всех 45 образцов, сведенные в таблицу.

Δt_i , ч	Δn_i	Δt_i , ч	Δn_i	Δt_i , ч	Δn_i
0-5	1	30-35	4	60-65	3
5-10	5	35-40	3	65-70	3
10-15	8	40-45	0	70-75	3
15-20	2	45-50	1	75-80	1
20-25	5	50-55	0	-	-
25-30	6	55-60	0	-	-

Требуется определить вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, построить график этих функций, а также найти среднюю наработку до первого отказа \bar{T}_{cp} .

3. Прибор к началу испытаний проработал 470 ч. К концу испытаний наработка составила 18500 ч. Зарегистрировано 15 отказов. Определить среднюю наработку на отказ \bar{T}_0 .

4. В результате эксплуатации $N=100$ ремонтируемых объектов получены следующие статистические данные

Δn_i	46	40	36	32	30	28	26	24	24	22	22	20	20	20
$\Delta t \cdot 10^3$, ч	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Найти параметр потока отказов $\bar{\omega}$ и среднюю наработку на отказ \bar{T}_0 . Для потока отказов построить гистограмму.

5. Имеется 5 комплектов однотипной аппаратуры работающих в одинаковых условиях. Число отказов, промежутки времени исправной работы между соседними отказами и время работы по каждому комплекту приведены в таблице. Необходимо определить наработку на отказ и коэффициент готовности одного комплекта.

Номера комп-тов	t_1	T_{p1}	t_2	T_{p2}	t_3	T_{p3}	t_4	T_{p4}	t_5	T_{p5}	t_6	T_{p6}	Кол-во отказов
1	29	0,6	46	0,7	54	0,8	25	1,0	34	1,2	60	1,2	6
2	48	0,96	60	0,8	56	1,4	36	1,15	-	-	-	-	4
3	68	1,2	64	0,95	52	1,3	-	-	-	-	-	-	3
4	34	1,3	51	0,96	56	1,25	42	1,35	40	0,98	-	-	5
5	52	1,25	26	1,35	58	0,98	48	1,18	-	-	-	-	4

6. При эксплуатации объекта в течении года его средняя наработка составила $T_{0\Sigma} = 7400$ ч, суммарное время ремонтов $T_{p\Sigma} = 480$ ч и суммарное время технического обслуживания $T_{T0\Sigma} = 880$ ч. Определить коэффициент технического использования $K_{Т.И.}$.

7. При эксплуатации радиоэлектронного устройства было зарегистрировано $n=20$ отказов, из них отказало полупроводниковых приборов (ПП)–6, резисторов и конденсаторов (Брик) –8, трансформаторов и дросселей (Твид) –4, интегральных микросхем (ИМС) –2. На ремонт после выхода из строя ПП затрачивалось 15 мин, для РИК–10 мин, для Тид–20 мин, для ИМС–25 мин. Найти среднее время ремонта $\bar{T}_{Т.Р.}$.

8. На испытание было поставлено 50 ремонтируемых устройств. За время испытания отказало 15 устройств, время ремонта которых составило в часах: 4; 3,7; 5,2; 3,4; 3,2; 4,7; 4,2; 4,5; 5,3; 3,1; 4,4; 4,8; 3,8; 4,6; 3,9. Определить доверительный интервал для \bar{T}_p с доверительной вероятностью $P(\epsilon) = 0,9$ при экспоненциальном распределении времени ремонта.

9. Определить объем испытаний при условии, чтобы оценка среднего времени ремонта \bar{T}_p с вероятностью $P=0,99$ не отличалась от верхней доверительной границы более чем в два раза при экспоненциальном законе распределения времени ремонта.

10. Определить объем испытаний при условии, чтобы оценка среднего времени ремонта \bar{T}_p с вероятностью $P=0,99$ не отличалась от нижней доверительной границы более чем в 1,5 раза при распределении времени ремонта по закону Эрланга.

11. При эксплуатации устройства было зарегистрировано $n=30$ отказов. Распределение отказов по группам элементов и время затраченное на ремонт приведены в таблице:

Группа элементов	Кол-во отказов по группе	Время ремонта, мин. T_p
ЭВП	10	56; 36; 44; 42; 33; 32; 23; 75; 61; 28
Полупроводниковые приборы	6	80; 59; 108; 45; 73 91
Резисторы и конденсаторы	7	60; 73; 91; 58; 44; 82; 54
Микромодули	4	26; 34; 19; 23
Прочие элементы	3	125; 133; 108

Определить среднюю продолжительность текущего ремонта $T_{Т.Р.}$; интенсивность ремонта μ_p .

12. Нарботка на отказ аппаратуры при экспоненциальном законе надежности и без проведения профилактических работ составила $T_0=300$ ч. При проведении профилактических работ длительностью $T_{Т.0}=5$ ч наработка на отказ составила 700 ч. Среднее время ремонта $T_p = 6$ ч. Коэффициент интенсивности эксплуатации $K_{И} = 0,25$. Интенсивность отказов в выключенном состоянии $\lambda_2 = 2 \cdot 10^{-6}$ ч, в рабочем $\lambda_1 = 3,33 \cdot 10^{-3}$. Определить $\tau_{Т.0}$, а также K_T для $t=2$ ч без профилактики и при проведении профилактики.

5. Контрольные вопросы

1. Требования к ЭС.
2. Отказ. Работоспособность ЭС.
3. Вероятность безотказной работы ЭС
4. Нарботка на отказ ЭС

5. Среднее время восстановления работоспособности ЭС
6. Долговечность и сохраняемость ЭС
7. Безотказность. Вероятность безотказной работы.
8. Показателями безотказности неремонтируемых объектов.
9. Частота отказов. Интенсивность отказов.
10. Показателями безотказности ремонтируемых объектов.
11. Параметр потока отказов.
12. Средней наработкой до первого отказа. Средняя наработка на отказ.
13. Коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности.
14. Ремонтпригодность. Средняя продолжительность текущего ремонта, средняя продолжительность технического обслуживания. Интенсивность ремонта.
15. Виды отказов
16. Интенсивность отказов аппаратуры во время её работы и в выключенном состоянии.
17. Время между профилактиками

Значения коэффициента r_1

n	r_1					r_2				
	$P(\epsilon)$					$P(\epsilon)$				
	0,999	0,99	0,975	0,95	0,9	0,999	0,99	0,975	0,95	0,9
1	1000	100	40	19,5	9,50	0,14	0,22	0,27	0,33	0,43
2	44	13,5	8,26	5,63	3,77	0,22	0,30	0,36	0,42	0,51
3	15,7	6,88	4,84	3,66	2,73	0,27	0,36	0,42	0,48	0,57
4	9,33	4,85	3,67	2,93	2,29	0,31	0,40	0,46	0,52	0,60
5	6,76	3,91	3,08	2,54	2,05	0,34	0,43	0,49	0,55	0,62
6	5,43	3,36	2,73	2,29	1,90	0,36	0,46	0,52	0,57	0,65
8	4,06	2,75	2,31	2,01	1,72	0,41	0,50	0,56	0,61	0,69
10	3,38	2,42	2,08	1,83	1,61	0,44	0,53	0,58	0,64	0,71
15	2,59	2,01	1,78	1,62	1,46	0,50	0,59	0,64	0,68	0,74
20	2,23	1,81	1,64	1,51	1,37	0,54	0,63	0,67	0,72	0,77
25	2,02	1,68	1,55	1,44	1,33	0,58	0,66	0,70	0,74	0,79
30	1,89	1,60	1,48	1,39	1,29	0,60	0,68	0,72	0,76	0,80
40	1,72	1,50	1,40	1,32	1,24	0,64	0,71	0,75	0,78	0,83
50	1,61	1,43	1,35	1,28	1,21	0,67	0,74	0,77	0,80	0,84
60	1,56	1,38	1,31	1,25	1,19	0,70	0,76	0,79	0,82	0,86
80	1,47	1,32	1,26	1,21	1,16	0,73	0,78	0,81	0,84	0,87
100	1,40	1,28	1,23	1,19	1,14	0,75	0,80	0,83	0,86	0,88
150	1,31	1,22	1,18	1,15	1,12	0,79	0,84	0,86	0,88	0,90
200	1,26	1,19	1,16	1,13	1,10	0,81	0,86	0,88	0,89	0,92
250	1,23	1,17	1,14	1,11	1,09	0,83	0,87	0,89	0,90	0,92
300	1,21	1,15	1,12	1,10	1,08	0,84	0,88	0,90	0,91	0,93
400	1,18	1,13	1,11	1,09	1,07	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94
500	1,16	1,11	1,09	1,08	1,06	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94
600	1,14	1,10	1,08	1,07	1,05	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95
800	1,12	1,09	1,07	1,06	1,05	0,90	0,92	0,93	0,94	0,96
1000	1,11	1,08	1,06	1,05	1,04	0,93	0,93	0,94	0,95	0,96

Значение коэффициентов δ_1 и δ_2

n	δ_1				δ_2			
	P(ϵ)				P(ϵ)			
	0,99	0,95	0,9	0,8	0,99	0,95	0,9	0,8
1	0,075	0,177	0,265	0,412	3,325	2,37	1,95	1,5
2	0,206	0,341	0,436	0,574	2,512	1,94	1,675	1,375
3	0,3	0,434	0,525	0,65	2,15	1,75	1,542	1,317
4	0,362	0,5	0,581	0,7	2	1,64	1,469	1,281
5	0,415	0,545	0,62	0,73	1,88	1,57	1,42	1,25
6	0,454	0,575	0,654	0,755	1,792	1,52	1,383	1,232
7	0,460	0,604	0,675	0,771	1,725	1,47	1,353	1,214
8	0,464	0,62	0,688	0,785	1,66	1,43	1,34	1,205
10	0,473	0,65	0,713	0,813	1,527	1,35	1,287	1,187
15	0,57	0,7	0,766	0,85	1,43	1,3	1,234	1,15
20	0,629	0,74	0,8	0,87	1,371	1,26	1,2	1,13
25	0,668	0,77	0,821	0,885	1,332	1,23	1,179	1,115
30	0,697	0,788	0,835	0,892	1,303	1,22	1,165	1,108
35	0,719	0,8	0,848	0,9	1,281	1,2	1,152	1,1
40	0,738	0,81	0,86	0,91	1,262	1,19	1,14	1,09
45	0,752	0,82	0,867	0,915	1,248	1,18	1,133	1,085
50	0,765	0,83	0,87	0,916	1,235	1,17	1,126	1,084
100	0,835	0,88	0,91	0,94	1,165	1,12	1,09	1,06
150	0,865	0,8	0,928	0,955	1,135	1,1	1,072	1,045
200	0,883	0,92	0,935	0,958	1,117	1,08	1,065	1,042
250	0,895	0,923	0,944	0,962	1,105	1,07	1,056	1,038
300	0,905	0,935	0,95	0,968	1,095	1,065	1,05	1,032
350	0,912	0,94	0,952	0,968	1,088	1,06	1,048	1,031
400	0,92	0,942	0,955	0,97	1,08	1,058	1,045	1,03
450	0,922	0,944	0,957	0,972	1,078	1,056	1,042	1,028
500	0,928	0,95	0,96	0,974	1,072	1,05	1,04	1,026

Список литературы:

1. Технология деталей радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие для вузов. /Под ред. С.Е. Ушаковой. – М.: Радио и связь, 1996.
2. Валетов, В.А. Технология приборостроения. Учебное пособие / В.А. Валетов, Ю. П. Кузьмин, А.А. Орлова, С.Д. Третьяков. СПб: Университет ИТМО, 2008 – 336 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/40745#book_name.
3. Билибин, К.И. Проектирование технологических процессов в производстве электронной аппаратуры: Учеб. Пособие / К. И. Билибин, В. А. Соловьев. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 76 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/61998#book_name
4. Ловыгин, А.А. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система / А. А. Ловыгин, Л. В. Твердовский. М.: ДМК Пресс, 2015 – 280с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/82824#book_name.
5. Боярская Р.В. Проектирование технологических процессов сборки: Методические указания по курсовому и дипломному проектированию / Р.В. Боярская, Б.Д. Максимович, А. Г. Холодкова. – М.: Московский гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана, 2006 – 56 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/62071#book_name
6. Бурбаев А.М.. Отработка технологичности конструкций оптических приборов – СПб: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2004 – 95 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/43606#book_name
7. Тимирязев, В.А. Основы технологии машиностроительного производства: Учебник / А.В. Тимирязев, В. П. Вороненко, А.Г. Схиртладзе. СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 448с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/3722#book_name.
8. Богодухов, С.И. Технологические процессы в машиностроении: учебник для вузов / С. И. Богодухов, Е. В. Бондаренко, А.Г. Схиртладзе, Р. М. Сулейманов. М.: Машиностроение 2009. – 640 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/763#book_name.
9. Фельдштейн, Е.Э. Обработка деталей на станках с ЧПУ/ Е. Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич .М.: «Новое знание», 2007. – 299 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/2927#book_name
10. Дроздилов В.А., Простатов И.Л., Туктарова (Семенова) В.В. Нормирование затрат труда при выполнении операций механической обработки: учебно-методическое пособие. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2015. – 56с.
11. Седель, О.Я. Техническое нормирование: пособие / О.Я. Седель. Минск: Новое знание, 2008. – 202 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/2930#book_name
12. Р 50-601-19-91 Рекомендации. Применение статистических методов регулирования технологических процессов
13. ГОСТ 25346-89 (СТ СЭВ 145-88) Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений
14. ГОСТ 3.1107-81. Единая система технологической документации. Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения
15. ГОСТ 3.1702 - 79 Единая система технологической документации. Правила записи операций и переходов. Обработка резанием
16. ГОСТ 2.101-68 ЕСКД. Виды изделий.
17. ГОСТ 14.201-83. Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования